# MODEL QUESTIONS WITH ANSWERS

# PHYSICS

By

A Board of Examiners

*in Collaboration with*

**DASGUPTA & CHAKRABORTY**

(A Guide Book for H.S. & J.E. Examinations)

nbs

THE NEW BOOK STALL

25

**Model Questions with Answers on**

# PHYSICS

[ A Complete Guide Book for Higher Secondary and Joint Entrance Examination ]

*By*

**A Board of Examiners**

*in collaboration with*

DASGUPTA & CHAKRABORTY



nbs

**দি নিউ বুক স্টল**

৫/১, রমানাথ মজুমদার স্ট্রীট, কলিকাতা-৭০০০০৯

প্রকাশক :
শ্রীমহেন্দ্রনাথ পাল
দি নিউ বুক স্টল
৫/১ রমানাথ মজুমদার স্ট্রীট
কলিকাতা-৭০০০০৯

প্রথম প্রকাশ : 1987

মূল্য : 20·00

মুদ্রাকর :
লক্ষ্মী-সরস্বতী প্রেস
২০৭-বি বিধান সরণী
কলিকাতা-৭০০০০৬

## ● প্রকাশকের নিবেদন ●

পশ্চিমবঙ্গ উচ্চ-মাধ্যমিক শিক্ষাসংসদ কর্তৃক প্রবর্তিত নূতন পাঠক্রমের ভিত্তিতে নমুনা প্রশ্ন কয়েকদিন আগে প্রকাশিত হয়েছে। নানান দৃষ্টিকোণ থেকে বিচার ক'রে এই নমুনা প্রশ্নগুলি এবং উহাদের সহজ সরল সমাধান পুস্তক আকারে প্রকাশিত হ'ল। বলা বাহুল্য, এই পুস্তক রচনাকালে **Joint Entrance & I.I.T.** পরীক্ষার প্রশ্নাবলীর কথা বিশেষভাবে স্মরণে রাখা হয়েছে। আশা করি, এই পুস্তকখানি পরীক্ষার্থীদের উপযুক্তভাবে প্রস্তুত হতে বিশেষভাবে সাহায্য করবে।

ছাত্র-ছাত্রীরা এই পুস্তক দ্বারা কিছু-মাত্র উপকৃত হলে আমাদের শ্রম সার্থক হবে।

প্রকাশক

# সূচীপত্র

# বলবিদ্যা এবং পদার্থের ধর্ম

## ( Mechanics & General Properties of Matter )

**1.** দুটি ভেক্টর 3P এবং 2P আনত করা আছে। প্রথম ভেক্টরকে দ্বিগুণ করা হলে লব্ধি-ভেক্টর দ্বিগুণ হয়, ভেক্টরদ্বয়ের মধ্যে কোণের মান বার কর।

দুটি অসমান ভেক্টরের লব্ধিমান কি প্রত্যেক ভেক্টরের মান থেকে কম হবে? দুটি অসমান আনত ভেক্টরের লব্ধিমান কি শূন্য হবে?

[Two vectors 3P and 2P are inclined. If the resultant vector be doubled when the 1st vector be doubled, calculate the angle between the vectors.

Can the resultant of two unequal vectors be less than each of the vectors? Can the resultant of two unequal inclined vector be zero ?]

মনে করা হ'ল, $3\vec{P}$ এবং $2\vec{P}$—এই দুটি ভেক্টরের অন্তর্ভুক্ত কোণ $=\phi$

সুতরাং, উহাদের লব্ধিমান

$$R^2=(3P)^2+(2P)^2+2.3P.2P.\cos\phi$$

বা, $R^2=9P^2+4P^2+12P^2\cos\phi$

বা, $R^2=13P^2+12P^2\cos\phi$ (1)

$3\vec{P}$ ভেক্টরকে দ্বিগুণ করা হলে লব্ধি-ভেক্টর $2\vec{R}$ হয়, অতএব

$$(2R)^2=(6P)^2+(2P)^2+2.6P.2P.\cos\phi$$

বা, $4R^2=36P^2+4P^2+24P^2\cos\phi$

বা, $R^2=10P^2+6P^2\cos\phi$ (2)

1-নং এবং 2-নং সমীকরণ থেকে আমরা পাই—

$13P^2+12P^2\cos\phi=10P^2+6P^2\cos\phi$

বা, $\cos\phi=-\frac{1}{2}=\cos 120^\circ$

অতএব, ভেক্টর-দুটির মধ্যে অন্তর্ভুক্ত কোণ $=120^\circ$

মনে করা হ'ল, $\vec{A}$ এবং $\vec{B}$ দুটি ভেক্টর এবং উহাদের অন্তর্ভুক্ত কোণ $=\phi$

সামান্তরিক সূত্র অনুসারে $\vec{A}$ এবং $\vec{B}$ ভেক্টরদ্বয়ের লব্ধিমান

$$\vec{R}=\sqrt{\vec{A}^2+\vec{B}^2+2\vec{A}\vec{B}\cos\phi}$$

এই সমীকরণ থেকে দেখা যায় যে, লব্ধিমান—দুটি ভেক্টর এবং উহাদের অন্তর্ভুক্ত কোণের উপর নির্ভরশীল। $\phi=0$ হলে $\vec{R}=\vec{A}+\vec{B}$। ইহাই হ'ল লব্ধি-ভেক্টরের

সর্বোচ্চ বা চরম (maximum) মান। এক্ষেত্রে লব্ধি-ভেক্টরের মান, উভয় ভেক্টর অপেক্ষা বেশী হয়।

$\phi = 180°$ হলে $\vec{R} = \vec{A} - \vec{B}$। ইহাই হ'ল লব্ধি-ভেক্টরের অবম (minimum) মান। এক্ষেত্রে লব্ধি-ভেক্টরের মান, ভেক্টর-দুটির মান অপেক্ষা কম হতে পারে।

দুটি সমান এবং বিপরীতমুখী ভেক্টর একই বিন্দুতে ক্রিয়াশীল হলে উহাদের লব্ধি-ভেক্টরের মান শূন্য হয়।

কিন্তু দুটি ভেক্টর অসমান হলে উহাদের লব্ধি-ভেক্টরের মান কখনই শূন্য হবে না।

মনে করলাম, $\vec{A}$ এবং $\vec{B}$—দুটি ভেক্টর একই বিন্দুতে ক্রিয়া করছে। $\vec{A}$ এবং $\vec{B}$ ভেক্টর-দুটির অন্তর্ভুক্ত কোণ $\phi$ হলে লব্ধি-ভেক্টর

$$\vec{R} = \sqrt{A^2 + B^2 + 2\vec{A}\vec{B}\cos\phi} \text{ হবে।}$$

$\phi$-এর মান $180°$ হলে $\vec{R}$ এর মান অবম (minimum) হবে।

$$\therefore \ \vec{R}_{\text{অবম}} = |\vec{A} - \vec{B}|$$

$\vec{A} = \vec{B}$ না হলে $\vec{R}$-এর অবম মান কখনই শূন্য হবে না।

সুতরাং, দুটি অসমান ভেক্টরের লব্ধিমান কখনই শূন্য হতে পারে না।

2. লেখচিত্রের সাহায্যে $s = ut + \frac{1}{2}ft^2$ প্রমাণ কর। একটি বস্তুকণা চতুর্থ সেকেণ্ডে 50 cm এবং ষষ্ঠ সেকেণ্ডে 70 cm পথ অতিক্রম করে। 8 সেকেণ্ডে বস্তুটি কতদূর যাবে?

[Prove graphically $s = ut + \frac{1}{2}ft^2$.

A particle moves 50 cm and 70 cm in the 4th and 6th second respectively. Calculate the distance traversed by the body in 8 seconds.]

**লেখচিত্র দিয়ে $S = ut + \frac{1}{2}ft^2$ প্রমাণ:**

ধরা যাক, কোন বিন্দুর আদিবেগ 0 cm/sec; $t$ সেকেণ্ড বাদে বিন্দুটির বেগ $u$ হ'ল। এখন যদি লেখচিত্রের X-অক্ষ বরাবর $t$ ও Y-অক্ষ বরাবর $u$ আঁকা হয়, তাহলে প্রথম ক্ষেত্রে $u = 0$, $t = 0$; অর্থাৎ, প্রথম অবস্থানের স্থানাঙ্ক, মূল বিন্দু (origin) C-তে অবস্থিত।

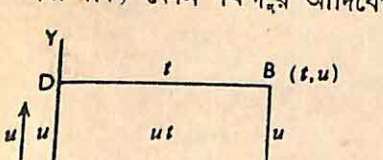



Fig. 1

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে X-অক্ষ বরাবর $t$ দূরত্ব Y-অক্ষ বরাবর $u$ দূরত্ব নিয়ে B বিন্দু পাওয়া গেল। তাহলে O বিন্দুর স্থানাঙ্ক (0, 0) এবং B বিন্দুর স্থানাঙ্ক হ'ল $(t, u)$ (fig. 1)। $OC = DB = t$ এবং $OD = CB = u$.

এখন, OCBD আয়তক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল $= OC \times OD = ut$। আবার, $t$ সেকেণ্ডে বস্তুটি যদি $S$ দূরত্ব অতিক্রম করে, তবে $S = ut$.

অর্থাৎ, বেগ-সময়ের লেখচিত্রে এই দুই অবস্থানের স্থানাঙ্ক ও অক্ষদ্বয় দিয়ে যে-আয়তক্ষেত্র ( স্থান-বিশেষে বদ্ধ ক্ষেত্র ) তৈরী হয়, তার ক্ষেত্রফল—বস্তু যতটা দূরত্ব গিয়েছে, তার সমান।

এখন যদি সমত্বরণ-যুক্ত বস্তুর বেগ-সময় লেখচিত্র আঁকা যায়, তাহলে তার আদি বেগ $u$ এবং তখন $t=0$ (fig. 2)। চিত্রে এটি E বিন্দু। $t$ সময় বাদে এর বেগ হবে $u+ft$ ; চিত্রে C বিন্দু দিয়ে এটি সূচিত হয়েছে। C বিন্দুর স্থানাঙ্ক হ'ল $(t, u+ft)$।

পূর্ব আলোচনা অনুযায়ী, OECA ট্র্যাপিজিয়ামের ক্ষেত্রফলই নির্ণেয় দূরত্ব। E থেকে AC-র উপর EB লম্ব টানা হ'ল।

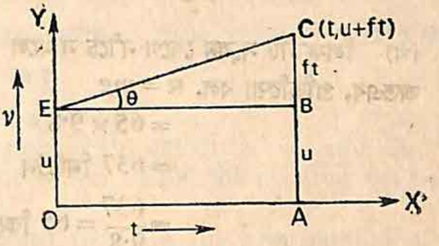



Fig. 2

এখন OE $=$ AB $=u$,

আবার AC $=u+ft$

বা, AB $+$ BC $=u+ft$

বা, BC $=ft$. [∵ AB $=u$

∴ $S=$ OECA ট্র্যাপিজিয়ামের ক্ষেত্রফল $=$ EBC ত্রিভুজের ক্ষেত্রফল $+$ OABE আয়তক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল $=\frac{1}{2}t.(ft)+ut=\frac{1}{2}ft^2+ut$ বা, $S=ut+\frac{1}{2}ft^2$.

ধরা যাক, $u=$ প্রাথমিক বেগ এবং $f=$ স্থির ত্বরণ।

এখন, $S_t=u+\dfrac{2t-1}{2}\times f$ থেকে

চতুর্থ সেকেণ্ডের ক্ষেত্রে, $50=u+\frac{1}{2}f.\ 7$ (1)

ষষ্ঠ সেকেণ্ডের ক্ষেত্রে, $70=u+\frac{1}{2}f.\ 11$ (2)

2-নং সমীকরণ থেকে 1-নং সমীকরণ বাদ দিলে $20=\frac{1}{2}f.\ 4$

বা, $f=10$ cm/sec$^2$

$f$-এর 1-নং সমীকরণে বসালে, $50=u+\frac{1}{2}\times10\times7$

বা, $u=50-35$
$=15$ cm/sec

অতএব, বস্তুটি 8 সেকেণ্ডে যায়

$$=15\times8+\tfrac{1}{2}\times10\times(8)^2$$
$$=120+5\times64$$
$$=120+320$$
$$=440 \text{ cm.}$$

3. 65 kg ওজনের এক ব্যক্তি একটি লিফ্টের মেঝেতে দাঁড়িয়ে আছে এবং 80 cm/sec$^2$ সুষম ত্বরণে নীচে নামছে। ব্যক্তি লিফ্টের মেঝে থেকে কি প্রতিক্রিয়া অনুভব করবে? সুষম বেগে লিফ্টটি নীচে নামলে প্রতিক্রিয়া কি হবে? ( $g=980$ cm/sec$^2$ )

[ A man weighing 65 kg is standing on a lift, descending with a uniform acceleration of 80 cm/sec$^2$. Calculate the reaction of

the floor of the lift on the man. What would be the reaction if the lift were descending with uniform velocity ($g=980$ cm/sec$^2$) ]

(ক) লিফ্‌ট সুষম ত্বরণ 80 cm/sec$^2$-এ নীচে নামলে

প্রতিক্রিয়া বল, $R=m(g-f)$

$=65(9{\cdot}8-{\cdot}8)$

$=65\times9$

$=585$ নিউটন

$=\frac{585}{9{\cdot}8}=59{\cdot}69$ কিলোগ্রাম-ভার।

(খ) লিফ্‌টটি সুষম বেগে নীচে নামলে $f=0$.

অতএব, প্রতিক্রিয়া বল, $R=mg$

$=65\times9{\cdot}8$

$=637$ নিউটন

$=\frac{637}{9{\cdot}8}=65$ কিলোগ্রাম-ভার।

4. একটি লিফ্‌টে দণ্ডায়মান এক ব্যক্তি কোন্‌ শর্তে নিজেকে ওজনশূন্য ব'লে মনে করবে। ( অভিকর্ষজ ত্বরণ $=g$ )

[ Under what condition a person standing on a lift will feel as if he has no weight. (Acceleration due to gravity $=g$.) ]

চিত্রে (fig. 3) দেখানো হয়েছে, লিফ্‌টটি $f$ সমত্বরণ-সহকারে নিচের দিকে নামছে।

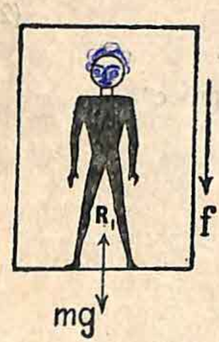


Fig. 3

লিফ্‌টে-দাঁড়ানো কোন লোকের ওজন $mg$ হলে, এই বল নিচের দিকে কাজ করছে। লোকটির উপর লিফ্‌টের প্রতিক্রিয়া-বল $R_1$ ( এটি $mg$-র বিপরীত দিকে কাজ করছে ) হলে, নিচের দিকে মোট বল

$=mg-R_1$.

এখন, $P=mf$ থেকে, $mg-R_1=mf$

বা, $R_1=m(g-f)$ (1)

কিন্তু যখন লিফ্‌ট স্থির আছে বা সমবেগে ওঠানামা করে, তখন $f=0$ এবং প্রতিক্রিয়া-বলের মান $=mg$ হবে।

1-নং সমীকরণ থেকে সহজেই বোঝা যাচ্ছে যে, নিচে নামার সময় প্রতিক্রিয়া-বলের মান কম হয়ে যায়। ওজনের উপলব্ধি—এই প্রতিক্রিয়া-বলের জন্যই। সেজন্য প্রতিক্রিয়া কমে গেলে, ওজন কম ব'লে মনে হয়।

যদি $g=f$ হয়, অর্থাৎ, লিফ্‌টটি বিনা বাধায় পড়ে, তখন প্রতিক্রিয়া শূন্য। তখন, লোকটির মনে হবে যে, তার কোন ওজন নেই।

5. আপেক্ষিক বেগ কাকে বলে ?

(ক) দুটি কণা যথাক্রমে $u$ এবং $2u$ বেগে পরস্পরের সহিত $60^\circ$ কোণে যাচ্ছে। একটি কণার অপরটির পরিপ্রেক্ষিতে আপেক্ষিক বেগ নির্ণয় কর।

(খ) দুটি কণাকে একটি মিনার (monument)-এর শীর্ষ থেকে 2 sec সময় ব্যবধানে ফেলা হ'ল। পড়ন্ত অবস্থায় যে-কোন সময়ে কণা-দুটির আপেক্ষিক বেগ এবং আপেক্ষিক ত্বরণ বার কর। ( অভিকর্ষজ ত্বরণ $= g$ )

(গ) একটি জাহাজ পূর্বদিকে 60 mile/hour বেগে যাচ্ছে এবং অপর একটি জাহাজ উত্তরদিকে 40 mile/hour বেগে যাচ্ছে। প্রথম জাহাজের পরিপ্রেক্ষিতে দ্বিতীয় জাহাজের আপেক্ষিক বেগ নির্ণয় কর।

What do you mean by relative velocity ?

(a) Two particles are moving with velocities $u$ and $2u$ in directions making $60^\circ$ with each other. Find the relative velocity of one with respect to each other.

(b) Two particles are dropped from the top of a monument at an interval of 2 seconds. Find the relative velocity and the relative acceleration of the particles at any time during their falling. (Acceleration due to gravity $= g$)

(c) One ship is moving due east with a velocity of 60 miles per hour and the other is moving due north with a velocity of 40 miles per hour. Find the relative velocity of the second ship with respect to the first.

● **আপেক্ষিক বেগ** (*Relative Velocity*)

**সংজ্ঞা :** পৃথিবী-পৃষ্ঠে সঞ্চরণশীল দুটি বস্তুকণা A ও B-র কথা বিবেচনা করলে A-র তুলনায় B-র অবস্থিতির পরিবর্তনের হারকে, A-র সাপেক্ষ B-র আপেক্ষিক বেগ বলা হয়।

A-র সাপেক্ষে B-র আপেক্ষিক বেগ নির্ণয় করতে গেলে, B-র বেগের সঙ্গে A-র সমান এবং বিপরীতমুখী বেগ সংযোজন করতে হয়।

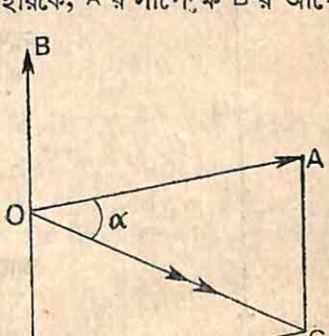


Fig. 4

মনে করা হ'ল—

$\overrightarrow{OA} = \overrightarrow{u}$

$\overrightarrow{OB} = 2\overrightarrow{u}$

$\overrightarrow{OD} = -2\overrightarrow{u}$

চিত্রানুসারে (fig. 4) OACD সামান্তরিকের কর্ণ $\overrightarrow{OC} = \overrightarrow{R}_1$. এটাই হ'ল দ্বিতীয় কণাটির পরিপ্রেক্ষিতে প্রথম কণার আপেক্ষিক বেগ।

$$\therefore \quad R^2 = u^2 + (2u)^2 + 2.\ u.\ 2u \cos(\pi - 60)$$
$$= u^2 + 4u^2 + 4u^2 \ (-\cos 60^\circ)$$
$$= 5u^2 + 4u^2 \times (-\tfrac{1}{2})$$
$$= 5u^2 - 2u^2$$
$$= 3u^2$$

$$\therefore \quad R = \sqrt{3}u.$$

$$\tan \alpha = \frac{2u \sin(\pi - 60)}{u + 2u \cos(\pi - 60)}$$

$$= \frac{2u \sin 60^\circ}{u + 2u\ (-\cos 60^\circ)}$$

$$= \frac{2u \frac{\sqrt{3}}{2}}{u - 2u \times \frac{1}{2}} = \frac{\sqrt{3}\ u}{0} = \infty$$

বা $\alpha = 90^\circ$

সুতরাং, $\vec{u}$ এর সঙ্গে আপেক্ষিক বেগ 90° কোণে আনত থাকবে।

(খ) মনে করা হ'ল $t$ সময় পরে Q কণাটিকে ফেলা হ'ল। P এবং Q হ'ল—কণা-দুটির অবস্থান (fig. 5)।




Fig. 5

অতএব, $OQ = \frac{1}{2}gt^2$

এবং $OP = \frac{1}{2}g(t+2)^2$

সুতরাং, $t$ সময়ে আপেক্ষিক দূরত্ব $= x$

$$\therefore \quad x = OP - OQ = \tfrac{1}{2}g(t+2)^2 - \tfrac{1}{2}gt^2$$
$$= \tfrac{1}{2}g(t^2 + 4t + 4) - \tfrac{1}{2}gt^2$$
$$= \tfrac{1}{2}gt^2 + 2gt + 2g - \tfrac{1}{2}gt^2$$
$$= g(2t+2).$$

আপেক্ষিক বেগ—

$$v = \frac{dx}{dt} = \frac{d}{dt}\left[g(2t+2)\right] = 2g.$$

আপেক্ষিক ত্বরণ—

$$f = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt}(2g) = 0.$$

(গ) পশ্চিমদিকে উভয় জাহাজে সমান বেগ 60 m.p.h প্রয়োগ করা হ'ল। সুতরাং, উত্তরদিকে 40 m.p.h এবং পশ্চিমদিকে 60 m.p.h—এই দুই বেগ দ্বিতীয় জাহাজের উপর ক্রিয়াশীল হয়। ইহাদের লব্ধিমান হবে প্রয়োজনীয় আপেক্ষিক বেগ।

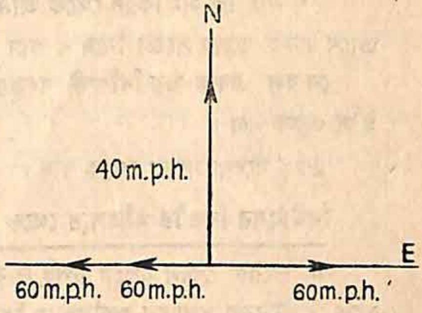


Fig. 6

$\therefore$ আপেক্ষিক বেগ

$$= \sqrt{(40)^2+(60)^2}$$
$$= \sqrt{1600+3600}$$
$$= \sqrt{5200}$$
$$= 72{\cdot}11 \text{ m.p.h.}$$

ইহার অভিমুখ পশ্চিমের সহিত $\theta$ কোণ সৃষ্টি করলে

$$\tan\theta = \frac{40}{60} = \frac{2}{3}.$$

বা, $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{2}{3}\right)$.

**6.** নিউটনের দ্বিতীয় গতিসূত্র লেখ। ইহার সাহায্যে কিভাবে একক বলের সংজ্ঞা পাওয়া যায়, তাহা দেখাও। নিউটনের দ্বিতীয় গতিসূত্র থেকে কিভাবে প্রথম গতিসূত্র পাওয়া যায়, তাহা বিবৃত কর।

[Write down Newton's 2nd law of motion. Show how this gives rise to the definition of unit force. How can the 1st law of Newton be obtained from Newton's 2nd law ?]

● **নিউটনের দ্বিতীয় গতিসূত্র** (*Newton's Second Law of Motion*)

**দ্বিতীয় সূত্র ঃ**

কোন বস্তুর ভরবেগের (momentum) পরিবর্তনের হার, প্রযুক্ত বলের সমানুপাতিক এবং বল যেদিকে কাজ করে, ভরবেগের পরিবর্তন সেই দিকে ঘটে।

[The rate of change of momentum of a body is proportional to the impressed force and takes place in the direction along which the force acts.]

গণিতের ভাষায়

$$P = mf$$

যেখানে $P \rightarrow$ প্রযুক্ত বল,

$m \rightarrow$ বস্তুর ভর,

$f \rightarrow$ বস্তুর ত্বরণ।

**একক বল :**

$P=mf$ এই সমীকরণ থেকে আমরা বলের ত্বরণ সৃষ্টি করার ভিত্তিতে নিম্নলিখিত-ভাবে একক বলের সংজ্ঞা নির্দেশ করা যায়।

**যে-বল একক-ভর-বিশিষ্ট বস্তুর উপর প্রযুক্ত হয়ে একক ত্বরণ সৃষ্টি করে, তা হ'ল একক বল।**

একক বলের সংজ্ঞা থেকে যদি $m=1, f=1$ হয়, তবে $F=1$.

**নিউটনের দ্বিতীয় গতিসূত্র থেকে প্রথম সূত্রের ব্যাখ্যা :**

$m$ ভরের কোন বস্তুর উপর $P$ বল প্রয়োগ করা হলে, উহার গতিতে উৎপন্ন ত্বরণ $f$ হলে, নিউটনের সনাতন বলবিদ্যার দ্বিতীয় গতিসূত্র থেকে আমরা জানি যে, $P=mf$.

এখন $P=0$ হলে, $f=0$ হবে ; অর্থাৎ, কোন বস্তুর উপর কোন বল প্রয়োগ করা না হলে উক্ত বস্তুর গতিতে সৃষ্ট ত্বরণ শূন্য হবে।

আবার, ত্বরণ $f=\frac{dv}{dt}$.

সুতরাং, $\frac{dv}{dt}=0$.

অর্থাৎ, এখানে বস্তুর বেগ $v=$ ধ্রুবক। বস্তুর এই বেগের মান শূন্য বা যে-কোন মানের হতে পারে।

অতএব, বাইরে থেকে প্রযুক্ত বল দ্বারা অবস্থার পরিবর্তন করতে বাধ্য না করালে, অচল বস্তু চিরকাল অচল অবস্থাতেই থাকবে এবং সচল বস্তু চিরকাল সমবেগে সরলরেখা ধ'রে চলবে।

ইহাই হ'ল নিউটনের সনাতন বলবিদ্যার দ্বিতীয় গতিসূত্র থেকে প্রথম সূত্রের ব্যাখ্যা।

7. দুটি বস্তুর মধ্যে নিউটনের পূর্ণ স্থিতিস্থাপক সংঘর্ষের সূত্রটি লেখ।

[Write down Newton's law of perfectly elastic collision between two bodies.]

● **ধাক্কা-সম্বন্ধীয় নিউটনের সূত্র** (*Newton's Law on Collision*)

**সূত্র :** যখন দুটি বস্তুর একটি অপরকে ধাক্কা মারে, তখন ধাক্কা লাগার পরে এদের আপেক্ষিক বেগ ( সংঘর্ষ-রেখা-বরাবর পরিমাপিত ) এবং ধাক্কা লাগার পূর্বে আপেক্ষিক বেগের ( একই অভিমুখ-বরাবর পরিমাপিত ) অনুপাত ধ্রুবক হয়।

এই ধ্রুবককে **স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক** (coefficient of elasticity or restitution) বলে এবং একে $e$ দ্বারা সূচিত করা হয়।

যদি সংঘর্ষ-রেখা-বরাবর দুটি বস্তুর বেগের উপাংশ ধাক্কা লাগার আগে $u_1$ ও $u_2$ হয় এবং ধাক্কা লাগার পরে যথাক্রমে $v_1$ এবং $v_2$ হয় ( সব বেগ-কয়টি একই অভিমুখে পরিমাপ করা হয়েছে ), তাহলে $\frac{v_2-v_1}{u_1-u_2}=e$.

বা, $v_2 - v_1 = -e(u_2 - u_1)$, বা, $v_2 - v_1 = e(u_1 - u_2)$

$e$-র সর্বগরিষ্ঠ মান $=1$ এবং সর্বনিম্ন মান $=0$ হয়।

দুটি নির্দিষ্ট পদার্থের বস্তুর ক্ষেত্রে $e$-র মান অপরিবর্তনীয়। কিন্তু যে-কোন একটি বা দুটি বস্তুরই পরিবর্তন করলে $e$-র মান বদলে যাবে।

যদি $e=1$ হয়, সেক্ষেত্রে বস্তু-দুটিকে **পূর্ণ স্থিতিস্থাপক** (perfectly elastic) বলে। এ-রকম দুটি বস্তুর সংঘর্ষকে **স্থিতিস্থাপক সংঘর্ষ** (elastic collision) বলে। অতএব, বস্তু-দুটি পূর্ণ স্থিতিস্থাপক হলে

$$\frac{v_2 - v_1}{u_1 - u_2} = 1$$

$$\text{বা, } v_2 - v_1 = u_1 - u_2 \qquad (1)$$

এই সমীকরণ থেকে বলা যায় যে, সংঘর্ষের আগে দুটি বস্তুর কাছাকাছি আসবার আপেক্ষিক বেগ, সংঘর্ষের পর দুটি বস্তুর পরস্পর থেকে দূরে সরে যাবার আপেক্ষিক বেগের সমান।

8. অভিকেন্দ্র বল কোন কাজ করে না—এই উক্তি ব্যাখ্যা কর।

অভিকেন্দ্র বল কাকে বলে? সুষম বেগ ($v$) বিশিষ্ট ($r$) ব্যাসার্ধের একটি বৃত্ত বরাবর ঘূর্ণনরত একটি বস্তুকণার অভিলম্ব ত্বরণের রাশিমালা প্রতিষ্ঠা কর।

[Explain the statement that centripetal force does not perform any work. Define centripetal force. Obtain the expression of normal acceleration of a particle moving along a circle of radius ($r$) with uniform velocity ($v$).]

যখন কোন বস্তু বা কণা একটি বৃত্তাকার পথে ঘুরতে থাকে, তখন ঐ বৃত্তের কেন্দ্র-অভিমুখে বস্তুর উপরে যে-বল ক্রিয়া করে, তাকে **অভিকেন্দ্র বল** বলে।

অভিকেন্দ্র বলের পরিমাণ-প্রকাশক রাশিমালা হ'ল $F = \frac{mv^2}{r}$.

যেখানে $m$ = বস্তুকণার ভর, $v$ = রৈখিক বেগ, $r$ = বৃত্তাকার পথের ব্যাসার্ধ।

এখন এই বলের ক্রিয়া যে-কোন মুহূর্তে বন্ধ হয়ে গেলে বস্তুকণাটি তৎক্ষণাৎ ঐ বিন্দুতে বৃত্তাকার পথের সহিত অংকিত স্পর্শক বরাবর সরলরেখায় সমবেগে গতিশীল থাকে। বস্তুর গতির অভিমুখের অভিলম্ব দিকে এই অভিকেন্দ্র বল ক্রিয়াশীল থাকে। বস্তুর গতির দিকে বলের কোন উপাংশ না থাকায় বস্তুর এই গতির দিকে বলের কোন প্রকার সরণ হয় না। সুতরাং, **অভিকেন্দ্র বল কোন কাজ করে না।**

● **অভিকেন্দ্র বল** (*Centripetal Force*)

**সংজ্ঞা ঃ** যখন কোনও কণা বা বস্তু একটি বৃত্তাকার পথে ঘুরতে থাকে, তখন ঐ বৃত্তের কেন্দ্র-অভিমুখে বস্তুর উপরে যে-বল ক্রিয়া করে, তাকে **অভিকেন্দ্র বল** (centripetal force) বলে।

● **অভিলম্ব বা ব্যাসার্ধমুখী ত্বরণ** (*Normal or Radial Acceleration*)

কোনও বস্তু-কণা যখন বৃত্তাকার পথে ঘুরতে থাকে, তখন বৃত্তের ব্যাসার্ধ-বরাবর এবং কেন্দ্রের অভিমুখে বস্তু-কণার উপর একটি বল কাজ করে। নিউটনের দ্বিতীয়

সূত্র ($P=mf$) থেকে আমরা বলতে পারি যে, কেন্দ্রের অভিমুখে একটি ত্বরণও উৎপন্ন হবে। এই ত্বরণকে **অভিলম্ব বা ব্যাসার্ধমুখী ত্বরণ** বলে।

ধরা যাক, $m$ ভর-বিশিষ্ট কোনও বস্তু-কণা $r$ ব্যাসার্ধের বৃত্তাকার পথে $\omega$ কৌণিক বেগে ঘুরছে (fig. 7)। যে-কোনও একটি সময়ে এর অবস্থিতি হচ্ছে P বিন্দু। অত্যন্ত অল্প সময় ($t$) বাদে ধরা যাক, কণাটি Q-তে এলো এবং $\angle QOP=\theta$.

∴ বস্তু-কণার কৌণিক বেগ $=\omega=\theta/t$ (1)

Q বিন্দুতে রৈখিক বেগ $v$, স্পর্শক (QK)-বরাবর কাজ করছে। এই রৈখিক বেগকে PS-এর সমান্তরাল এবং লম্ব অভিমুখে বিভাজিত করলে, এই বিভাজিত উপাংশগুলি যথাক্রমে $v\cos\theta$ এবং $v\sin\theta$ হয়।

[ $\angle KQT+\angle KQR=90^\circ$
$=\angle KQR+\angle RQO,$
∴ $\angle KQT=\angle RQO=\angle QOP=\theta$]

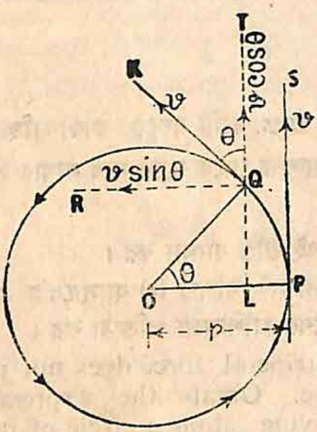



Fig. 7

$t$ সময়টি অত্যন্ত ক্ষুদ্র ব'লে $\theta$-ও খুব ছোট হবে। সেক্ষেত্রে $\cos\theta=1$ এবং $\sin\theta=\theta$ ( রেডিয়ান এককে )।

তাহলে, QT-বরাবর উপাংশ $=v\cos\theta=v$ এবং RQ-বরাবর উপাংশ $=v\sin\theta=v\theta$. দেখা যাচ্ছে যে, P থেকে Q-তে আসার জন্য বস্তু-কণার স্পর্শক-বরাবর বেগের কোন পরিবর্তন হচ্ছে না ( উভয় ক্ষেত্রেই মান $v$ থাকছে )। কিন্তু কেন্দ্র-বরাবর বেগের পরিবর্তন হচ্ছে। P বিন্দুতে অবস্থান-কালে কেন্দ্র-বরাবর কোনও বেগ ছিল না ; অথচ Q বিন্দুতে বস্তু-কণাটি যখন এলো, তখন এর বেগ $v\theta$ হ'ল। অতএব, বস্তু-কণার

কেন্দ্র-অভিমুখে ত্বরণ $=\dfrac{v\theta-0}{t}=\dfrac{v\theta}{t}=v\omega=\omega^2r$ ( ∵ $v=\omega r$)

অর্থাৎ, ব্যাসার্ধমুখী ত্বরণ $=\omega^2r=v^2/r$.

অতএব, অভিলম্ব ত্বরণের রাশিমালাটি হ'ল $\dfrac{v^2}{r}$.

9. দুটি বস্তুর মধ্যে মহাকর্ষীয় আকর্ষণের সূত্রগুলি লেখ। মহাকর্ষীয় বলের সহিত চৌম্বক বল বা তাড়িতিক বলের পার্থক্য কি ?

অভিকর্ষজ ত্বরণ বলতে কি বুঝ ? ইহা কোন্ কোন্ রাশির উপর নির্ভরশীল ?

**অথবা,** ইহা উচ্চতা এবং অক্ষাংশের উপর কিভাবে নির্ভর করে ?

[ Write down the laws of gravitational attraction between two bodies. How does this force differ with magnetic force or electrical force ?

What do you mean by acceleration due to garvity ? Mention

the factors on which depends. *Or*, How does it depend on height and latitude ? ]

● **নিউটনের মহাকর্ষীয় সূত্র**

এই মহাবিশ্বের যে-কোন দুটি বস্তু-কণা পরস্পরকে নিজেদের ভারকেন্দ্রের সংযোজক সরলরেখা বরাবর আকর্ষণ করে এবং আকর্ষণের মান বস্তু-কণা-দুটির ভরের, গুণফলের সমানুপাতিক ও এদের মধ্যেকার দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক।

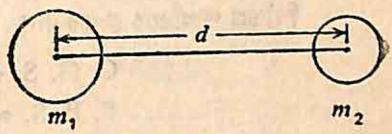



Fig. 8

মনে করা যাক, দুটি বস্তুর ভর হ'ল যথাক্রমে $m_1$ ও $m_2$ (fig. 8) এবং এদের মধ্যেকার দূরত্ব $d$ ( প্রকৃতপক্ষে, এদের ভারকেন্দ্রের মধ্যেকার দূরত্ব )। আকর্ষণ-বল F হলে, নিউটনের সূত্র থেকে,

$F \propto m_1 m_2$ [ যখন $d$ ধ্রুবক ]

এবং $F \propto \dfrac{1}{d^2}$ [ যখন $m_1$ ও $m_2$ ধ্রুবক ]

অতএব, $F \propto \dfrac{m_1 m_2}{d^2}$ [ যখন $m_1, m_2, d$—সকলেই পরিবর্তনশীল ]

বা, $F = G\dfrac{m_1 m_2}{d^2}$ [ G একটি ধ্রুবক ] (A)

এই G-কে সর্বজনীন মহাকর্ষীয় ধ্রুবক বলা হয়। ভর—গ্র্যামে, বল—ডাইনে ও দূরত্ব—সেণ্টিমিটারে মাপলে, G-এর মান $6{\cdot}670 \times 10^{-8}$ হয়। এম. কে. এস-পদ্ধতিতে এর মান $6{\cdot}670 \times 10^{-11}$ হয়।

| মহাকর্ষীয় বল | চৌম্বক বল | তাড়িতিক বল |
|---|---|---|
| 1. দুটি বস্তুর পরস্পরের আকর্ষণের ফলে মহাকর্ষীয় বলের সৃষ্টি হয়। | 1. দুটি মেরুর পরস্পরের আকর্ষণ বা বিকর্ষণের ফলে চৌম্বক বলের সৃষ্টি হয়। | 1. দুটি আধানের পরস্পরের আকর্ষণ বা বিকর্ষণের ফলে তাড়িতিক বলের সৃষ্টি হয়। |
| 2. মহাকর্ষীয় বলের রাশিমালা হ'ল $F = G\dfrac{m_1 m_2}{r^2}$ যেখানে $m_1, m_2 \rightarrow$ বস্তু-দুটির ভর, $r \rightarrow$ বস্তু-দুটির কেন্দ্র-সংযোজনকারী সরলরেখা, $G \rightarrow$ মহাকর্ষীয় ধ্রুবক। | 2. চৌম্বক বলের রাশিমালা হ'ল $F = \dfrac{m_1 m_2}{\mu r^2}$ যেখানে $m_1, m_2 \rightarrow$ চুম্বক-মেরু-দুটির মেরু শক্তি, $r \rightarrow$ মেরু-দুটির মধ্যে দূরত্ব, $\mu \rightarrow$ মাধ্যমের চৌম্বক ভেদ্যতা। | 2. তাড়িতিক বলের রাশিমালা হ'ল $F = \dfrac{q_1 q_2}{Kr^2}$ যেখানে $q_1, q_2 \rightarrow$ আধান, $r \rightarrow$ দূরত্ব, $K \rightarrow$ মাধ্যমের পরা-বৈদ্যুতিক ধ্রুবক। |

**● অভিকর্ষজ ত্বরণ**

**সংজ্ঞা ঃ** পৃথিবী-পৃষ্ঠে অবস্থিত কোন স্থানের একক ভরকে পৃথিবী যে-বলে নিজের কেন্দ্রের দিকে আকর্ষণ করছে, তার মানকেই ঐ স্থানের অভিকর্ষজ ত্বরণ বলে। ইহাকে $g$ দ্বারা সূচিত করা হয়।

বিভিন্ন পদ্ধতিতে $g$-এর মান—

C. G. S. পদ্ধতি $g=980$ cm/sec$^2$
F. P. S. পদ্ধতি $g=32$ ft/sec$^2$
M. K. S. পদ্ধতি $g=9{\cdot}8$ mt/sec$^2$

**অভিকর্ষজ ত্বরণ (g) নিম্নলিখিত রাশিগুলির উপর নির্ভরশীল ঃ**

কোন বস্তু যখন পৃথিবী-পৃষ্ঠের উপরে থাকে, তখন পৃথিবীর কেন্দ্রের ও বস্তুর মধ্যবর্তী দূরত্বকে পৃথিবীর ব্যাসার্ধের সমানই ধরা হয়; কারণ, বস্তুটির ব্যাসার্ধ সাধারণত পৃথিবীর ব্যাসার্ধের তুলনায় উপেক্ষণীয় হয়ে থাকে (fig. 9)।

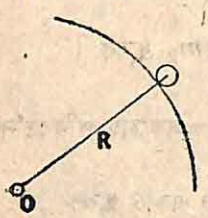


Fig. 9

সেক্ষেত্রে $g = G \times \frac{M}{R^2}$ হবে।

কোন বস্তুকে যদি পৃথিবী-পৃষ্ঠের উপরে বা ভিতরে অথবা পৃথিবী-পৃষ্ঠের উপরেই উত্তর বা দক্ষিণ মেরু থেকে ভূ-বিষুবরেখার দিকে নিয়ে যাওয়া হয়, তাহলে $g$-এর মান বদলে যায়। এছাড়া, পৃথিবীর ঘূর্ণনের জন্যও $g$-এর মান পরিবর্তিত হয়।

এর কারণ ও ব্যাখ্যা নিচে দেওয়া হ'ল—

**(1) কোন বস্তু পৃথিবী-পৃষ্ঠ থেকে $h$ দূরত্ব উপরে আছে ঃ**

কোন বস্তুকে যখন পৃথিবী-পৃষ্ঠ থেকে $h$ দূরত্ব উপরে নিয়ে যাওয়া হয়, তখন বস্তু ও পৃথিবীর মধ্যে দূরত্ব R না হয়ে $R+h$ হবে (fig. 10)।

অতএব, $g = G \times \frac{M}{(R+h)^2}$ হবে।

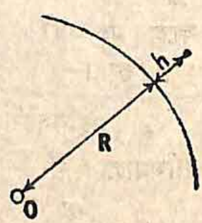


Fig. 10

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে হর বৃদ্ধি পেয়েছে; সেজন্য, ভাগফলের, অর্থাৎ, $g$-এর মান কম হয়ে যাবে। অতএব, পৃথিবী-পৃষ্ঠের যত উপরে কোন বস্তুকে নিয়ে যাওয়া হবে, ততই $g$-এর মান দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক হবে।

**(2) কোন বস্তু পৃথিবী-পৃষ্ঠ থেকে $h$ দূরত্ব ভিতরে আছে ঃ**

ভূ-পৃষ্ঠ থেকে পৃথিবীর ভিতরে, যেমন কোন খনির মধ্যে প্রবেশ করলেও ঐ স্থানে $g$-এর মান কমে যাবে। মনে করা যাক, পৃথিবীর $h$ দূরত্ব ভিতরে A বিন্দুতে কোন

বস্তু আছে। A বিন্দুতে অবস্থিত যে-কোন বস্তুর উপর পৃথিবীর আকর্ষণ AB-গোলকের আকর্ষণের সমান (fig. 11)। এই গোলকের বাইরের অংশ, বস্তুর উপর কার্যকর আকর্ষণ প্রয়োগ করে না।

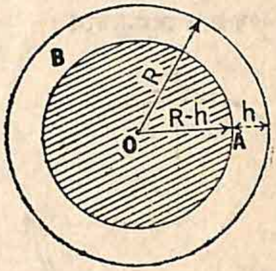


Fig. 11

এখন AB-গোলকের আয়তন $= \frac{4}{3}\pi(R-h)^2$

( কারণ, $OA = R-h$ )

AB-গোলকের ভরকে $M'$ ধরলে,

$M' =$ গোলকের আয়তন $\times$ গোলকের পদার্থের ঘনত্ব বা, $M' = \frac{4}{3}\pi(R-h)^3.\rho$

[ পৃথিবীর গড়-ঘনত্বকে $\rho$ ধরা হয়েছে। ]

A-তে অবস্থিত বস্তুটির ভর $m$ হলে, আমরা জানি যে,

$$mg = G \times \frac{M'm}{(R-h)^2}$$ [ বস্তু ও পৃথিবীর কেন্দ্রের এক্ষেত্রে দূরত্ব $(R-h)$ ]

$$\text{বা,}\quad g = G \times \frac{M'}{(R-h)^2}.$$

$$M'\text{-এর মান বসিয়ে,}\ g = G \times \tfrac{4}{3} \times \frac{\pi(R-h)^3.\rho}{(R-h)^2} = \tfrac{4}{3}\pi G(R-h)\rho$$

$$= k(R-h)$$ [ যেখানে $k = \frac{4}{3}\pi\rho G$ ]

অর্থাৎ, $h$-এর মান যত বাড়বে, $(R-h)$ তত কমবে। অতএব, যত পৃথিবীর ভিতরের দিকে যাওয়া যাবে, ততই $g$-এর মান কমবে।

এ-রকম করতে করতে যদি কল্পনা করা যায়, বস্তুটি পৃথিবীর কেন্দ্রে পেঁছেছে, তখন $h$ ও R-এর মান সমান, সেক্ষেত্রে $g = \frac{4}{3}\pi G(R-R).\rho$ বা, $g = 0$. আবার যেহেতু $W = mg$, সেহেতু $W = 0$. অতএব, পৃথিবীর কেন্দ্রে সকল বস্তুর ওজনই শূন্য।

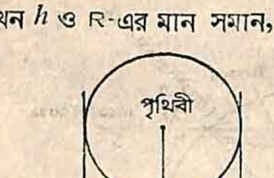


Fig. 12

দ্রষ্টব্য : পৃথিবী-পৃষ্ঠের উপরে কোন বস্তু নিয়ে গেলে, $g$-এর মান, দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক হয়। আবার, পৃথিবী-পৃষ্ঠের যত ভিতরে যাওয়া যায়, তত $g$-এর মান সরলরৈখিক ভাবে কমে। এই পরিবর্তনের হার একটি চিত্রের সাহায্যে (fig. 12) প্রকাশ করা হ'ল।

চিত্র থেকে সহজেই বোঝা যাচ্ছে, পৃথিবীর ভিতরের দিকে গেলে $g$-এর মান যে-হারে কমে, পৃথিবীর উপরের দিকে গেলে, তার চেয়ে দ্রুত হারে কমে।

(3) **মেরু থেকে ভূ-বিষুবরেখার দিকে পৃথিবী-পৃষ্ঠ বরাবর কোন বস্তুকে নিয়ে এলে, $g$-এর মান কেমন হবে ঃ**

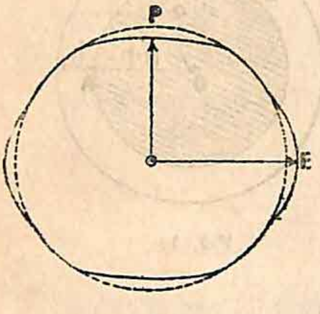



Fig. 13

আমরা জানি যে, পৃথিবী সম্পূর্ণ গোলাকার নয়, উত্তর ও দক্ষিণ মেরু কিছুটা চাপা (fig. 13), অর্থাৎ, মেরুর ব্যাসার্ধ, বিষুব-রৈখিক ব্যাসার্ধ থেকে কিছুটা ছোট।

এখন, $g = G \times (M/R^2)$

মেরুর R কিছু ছোট, বিষুবরেখায় R কিছু বড় হয়। এই সূত্র অনুযায়ী, মেরুতে $g$-এর মান বেশী।

অর্থাৎ, $g$-এর মান, তথা, বস্তুর ভার—মেরু-অঞ্চলে বেশী ও বিষুবরেখায় কম।

(4) **পৃথিবীর ঘূর্ণনের জন্য $g$-এর মানের পরিবর্তন ঃ**

পৃথিবীর নিজের অক্ষের চারপাশে ঘূর্ণনের জন্যও $g$-এর মান হ্রাস পায়। পৃথিবী নিজের অক্ষ-বরাবর ঘুরছে ব'লে এর উপরে অবস্থিত বস্তুগুলি বৃত্তাকার পথে ঘুরছে। বিভিন্ন অক্ষাংশে অবস্থিত বস্তু বিভিন্ন ব্যাসার্ধের বৃত্তাকার পথে ঘুরছে। এ-রকম ঘূর্ণনের জন্য বস্তুর উপরে একটি বহির্মুখী ত্বরণ কাজ করে। অভিকর্ষ-জনিত ত্বরণের কিছু পরিমাণ একে সামলাতে খরচ হয়। অবশিষ্ট ত্বরণ দ্বারা ঐ স্থানের ত্বরণ নির্দিষ্ট হয়। বহির্মুখী ত্বরণের মান হচ্ছে $\omega^2 r$ এবং অভিকর্ষজ ত্বরণের বিপরীত দিকে এর যতটা উপাংশ আছে, $g$-এর মান ঐ স্থানে ততটাই কমে যাচ্ছে [ যেখানে, $\omega$ = কৌণিক বেগ এবং $r$ = বৃত্তাকার পথের ব্যাসার্ধ ]। স্বভাবতঃই $r$ বেশী হলে বহির্মুখী ত্বরণের মান বেশী হবে, অর্থাৎ, $g$-এর মান কমে যাবে। মেরু-অঞ্চলে $r$-এর মান প্রায় শূন্য এবং বিষুবরেখা অঞ্চলে এর মান সবচেয়ে বেশী। অতএব, ঘূর্ণনের জন্য মেরু-অঞ্চলে $g$-এর মান প্রায় কিছুই কমবে না ; কিন্তু বিষুবরেখা বরাবর $g$-এর মান সবচেয়ে কম হবে।

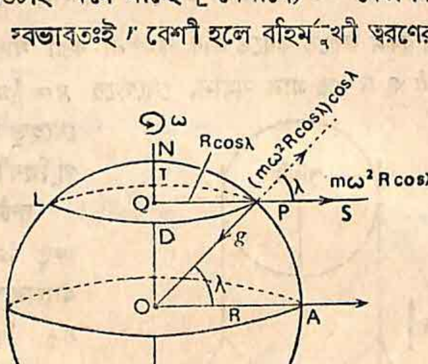



Fig. 14

ধরা যাক, M ভরের কোন বস্তু পৃথিবীর উপর P অবস্থানে আছে এবং P বিন্দুর অক্ষাংশ λ (fig. 14)। ধরা যাক, পৃথিবীর ব্যাসার্ধ = R ; কৌণিক বেগ = $\omega$ এবং অক্ষ = NS ; পৃথিবী যখন NS-অক্ষ বরাবর ঘোরে, তখন বস্তুটি $PQ = r = R \cos \lambda$ ব্যাসার্ধের একটি বৃত্তাকার পথ পরিক্রমা করে। এখন, বস্তুটির উপর অপকেন্দ্র বলের মান $F = m\omega^2 r = m\omega^2 R \cos \lambda$

এই অপকেন্দ্র বল PS অভিমুখে ক্রিয়া করে। বস্তুটির উপর পৃথিবীর আকর্ষণ-বল ($mg$) PO অভিমুখে ক্রিয়া করে। PO অভিমুখে অপকেন্দ্র বলের উপাংশ হচ্ছে $-F\cos\lambda = -m\omega^2 R\cos\lambda.\cos\lambda = -m\omega^2 R\cos^2\lambda$ ; সুতরাং, P বিন্দুতে বস্তুর আপাত ভার $= mg - m\omega^2 R\cos^2\lambda$

$$= mg\left(1-\frac{\omega^2 R\cos^2\lambda}{g}\right) = mg \quad [g = \text{P বিন্দুতে অভিকর্ষজ ত্বরণ।}]$$

$$\therefore \quad g = g\left(1-\frac{\omega^2 R\cos^2\lambda}{g}\right)$$

বিষুবরেখা বরাবর $\lambda = 0°$ ; অর্থাৎ, $\cos\lambda = 1$

$$\therefore \quad g_0 = g\left(1-\frac{\omega^2 R}{g}\right)$$

মেরু-অঞ্চলে, $\lambda = 90°$, অর্থাৎ, $\cos 90° = 0 \quad \therefore \quad g_{90} = g.$

এই আলোচনা থেকে সহজেই বোঝা যায় যে, পৃথিবীর ঘূর্ণনের জন্য বিষুবরৈখিক অঞ্চলে অভিকর্ষজ ত্বরণ সবচেয়ে কম এবং মেরু-অঞ্চলে সবচেয়ে বেশী। সুতরাং, পৃথিবীর দৈনিক ঘূর্ণনের জন্য ত্বরণ নিরক্ষীয় অঞ্চল থেকে মেরু-অঞ্চলের দিকে ক্রমশঃ বৃদ্ধি পায়।

তাহলে আমরা বুঝতে পারি যে, **কোন বস্তুর ভার ( বা g-এর মান ) ঃ**

**1. পৃথিবী-পৃষ্ঠ ছেড়ে উপরের দিকে গেলে কমে যায়। 2. পৃথিবীর ভিতরে গেলে কমে যায়। 3. মেরু থেকে বিষুবরেখার দিকে গেলে কমে যায়। 4. পৃথিবী-পৃষ্ঠে এবং মেরুদ্বয়েই $g$-এর মান, তথা, বস্তুর ভার সবচেয়ে বেশী। 5. পৃথিবীর ঘূর্ণনের জন্যও $g$-এর মান কম হয়। মেরু-অঞ্চলে ঘূর্ণন-জনিত কারণে $g$-এর মান অল্প কমে, কিন্তু, বিষুব-রৈখিক অঞ্চলে বেশী কমে।**

**10.** মুক্তিবেগ বলতে কি বোঝায় ?

পৃথিবী-পৃষ্ঠ থেকে 500 km ঊর্ধ্বে একটি কৃত্রিম উপগ্রহ পৃথিবীর চারদিকে প্রদক্ষিণ করছে। পৃথিবীর ব্যাসার্ধ 6400 km এবং অভিকর্ষজ ত্বরণ 980 cm/sec² হলে উপগ্রহের বেগ কত হবে ?

[What do you mean by Escape Velocity ?

The artificial satellite is revolving round the earth along a circular orbit 500 km above the earth's surface. Calculate the velocity of the satellite if the radius of the earth and the acceleration due to gravity be 6400 km and 980 cm/sec² respectively.]

**● মুক্তিবেগ ( *Escape Velocity*)**

**সংজ্ঞা ঃ সর্বনিম্ন যে-বেগ কোন বস্তুতে আরোপ করলে বস্তুটি আর পৃথিবীতে ফিরে আসে না, তাকে মুক্তি-বেগ (escape velocity) বলে।**

মুক্তি-বেগের মান নিচে-লেখা সূত্রটি থেকে পাওয়া যায়,

$$v_e = \sqrt{\frac{2GM}{R}} \qquad (1)$$

এই চাপকে বায়ুমণ্ডলের চাপ (atmospheric pressure) বলে। এটি একক ক্ষেত্রফল ভূমিবিশিষ্ট ও বায়ুমণ্ডলের ঊর্ধ্বসীমা পর্যন্ত বিস্তৃত বায়ুস্তম্ভের ওজনের সমান। সমুদ্র-পৃষ্ঠে এই চাপের স্বাভাবিক মান প্রতি বর্গ-ইঞ্চিতে প্রায় 14·7 পাউণ্ড-ভার বা প্রতি বর্গ-সেমি-তে $1{\cdot}014 \times 10^6$ ডাইন।

● **বায়ুর চাপের মান** ( *Value of Atmospheric Pressure* )

কোন জায়গায় যদি পারদ-স্তম্ভের উচ্চতা 76 সেমি. হয় ও পারদের ঘনত্ব 13·6 গ্রাম প্রতি সি.সি. হয়, তাহলে,

বায়ুমণ্ডলের চাপ $= \rho . g . h = 13{\cdot}6 \times 981 \times 76 = 1{\cdot}01396 \times 10^6$ dyne/sq. cm.

আবহাওয়া-বিজ্ঞানে $10^6$ dyne/sq. cm.-কে **1 বার** (bar) চাপ বলা হয়। $10^3$ dyne/sq. cm-কে 1 **মিলিবার** (millibar) চাপ বলা হয়।

অতএব, বায়ুমণ্ডলের চাপ $= 1{\cdot}01396 \times 10^6$ dyne/sq. cm.
$= 1{\cdot}01396$ bar $= 1013{\cdot}96$ millibar.

**28.** শোষক-পাম্প এবং উত্তোলক-পাম্প সম্পর্কে সংক্ষিপ্ত টীকা লেখ।
[ Write short notes on : Suction pump and Lift pump. ]

● **শোষক-পাম্প বা গেরিক-এর বায়ু-পাম্প** ( *Suction Pump* or *Guerick's Air-Pump* )

বায়ুপূর্ণ কোন বদ্ধ-স্থান থেকে বায়ু শোষণ ক'রে নেবার জন্য এই ধরনের পাম্প ব্যবহার করা হয়। 1654 খ্রীষ্টাব্দে প্রুশীয় বিজ্ঞানী অটো ফন্ গেরিক এই পাম্প উদ্ভাবন করেন।

পাশের চিত্রে (fig. 29) একটি শোষক-পাম্পের ছবি দেখানো হয়েছে। এতে XY একটি মোটা লোহার চোঙ। একে পাম্পের ব্যারেল (barrel) বলা হয়। XY-চোঙের সঙ্গে একটি বায়ু-নিরুদ্ধ পিস্টন (piston) সংযুক্ত আছে। পিস্টনের নিচের অংশ একটি ভাল্‌ভের (B) সঙ্গে যুক্ত। এই ভাল্‌ভটি কেবল উপরের দিকে খোলে এবং বায়ুকে শুধু উপরের দিকে যেতে দেয়। বায়ু নিচে নামবার চেষ্টা করলে, এই ভাল্‌ভ যোগ-পথে শক্ত হয়ে আটকে যোগ-পথ রুদ্ধ ক'রে দেয়। XY-চোঙের নিচে F-নলটি যুক্ত আছে। F-নলের অন্য প্রান্তে লোহার অথবা পিতলের একখানি মসৃণ চাকতি E-এর উপর H একটি বড় অর্ধ-গোলকাকার কাচ-পাত্র (bell-jar) বসানো থাকে।

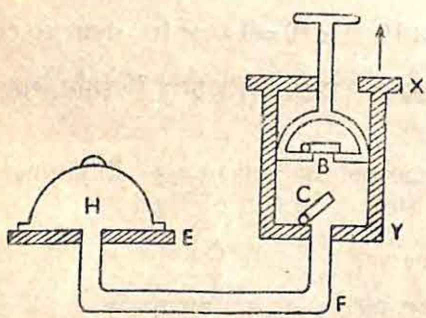


Fig. 29

এই পাত্রটির নিচের মুখ মসৃণ ও খোলা। একে পাম্পের রিসিভার (receiver) বলে। (H)-কাচ-পাত্রটি E-এর উপর বসিয়ে দিলে, পাত্রের ভিতরের বায়ুর সঙ্গে

XY-এর সংযোগ ঘটে। C-ভাল্ভটি F-নলের মুখে বসানো এবং এটিও উপরের দিকে খোলে। পিস্টনটিকে নিম্নতম অবস্থান থেকে হাতলের সাহায্যে উপরের দিকে তুললে, B ও C-র মধ্যবর্তী অঞ্চলের বায়ুর আয়তন বেড়ে যায় এবং ঐ স্থানের বায়ুর চাপ বয়েল-এর সূত্রানুযায়ী কমে যায়। ফলে, বাইরের বায়ুমণ্ডলের চাপে B-ভাল্ভ বন্ধ হয়ে যায়। কিন্তু H-পাত্রের ভিতরের বায়ুর চাপে C-ভাল্ভটি খুলে যায় এবং H-পাত্রটির কিছু বায়ু C-ভাল্ভের পথ দিয়ে BC-অঞ্চলে প্রবেশ করে। পিস্টন যখন নিচে নামানো হয়, তখন CB-অঞ্চলের বায়ুর আয়তন, চাপ-বৃদ্ধির ফলে হ্রাস পায় এবং C-ভাল্ভ বন্ধ হয়ে B-ভাল্ভ খুলে যায় ও খোলা পথে কিছু বায়ু বাইরে চলে যায়। পিস্টনটিকে এইভাবে ক্রমাগত ওঠানো-নামানোর ফলে H-পাত্রটি ক্রমশঃ বায়ুশূন্য হতে থাকে। ভাল্ভ যত হাল্কা হয়, H-পাত্রের শূন্যতা তত বৃদ্ধি পায়। কিন্তু H-পাত্রের ভিতরের বায়ু কখনই একেবারে শূন্য হয় না। কারণ, B ও C—এই দুটি ভাল্ভকে খুলবার জন্য কিছু ন্যূনতম বলের প্রয়োজন। সমস্ত বায়ু ক্রমশঃ বার হয়ে, অবশেষে পাত্রে সামান্য বায়ু থেকে যায়—যা C-ভাল্ভকে খুলবার জন্য ন্যূনতম বল প্রয়োগ করতে পারে না। সুতরাং, এই পাম্পে কতটা শূন্যতা সৃষ্টি করা যাবে, তা প্রধানতঃ ভাল্ভের ওজনের উপর নির্ভর করে। এই পাম্পে বায়ুর চাপ দুই-এক মিলিমিটারের কম করা যায় না। যখন H-পাত্রের বায়ুর চাপ C-ভাল্ভকে আর খুলতে পারার মতো বল প্রয়োগ করে না, তখন এই পাম্পের বায়ু-নিষ্কাশনের শেষ পর্যায় বুঝতে হবে।

**পিস্টন কয়েকবার ওঠা-নামা করবার পর H-আধারের বায়ুর চাপ ও ঘনত্ব নির্ণয়ঃ**

ধরা যাক, XY-চোঙের নিম্ন-ভাল্ভ (C)-থেকে H-আধার পর্যন্ত আয়তন $=V$

পিস্টনের সর্বনিম্ন এবং সর্বোচ্চ অবস্থানের মধ্যে চোঙের আয়তন $=v$

H-আধারের ভিতর বায়ুর চাপ $=P_0$

অতএব, পিস্টনের সর্বনিম্ন অবস্থান থেকে একবার ওঠবার পর, H-আধারের বায়ুর আয়তন $=V+v$ হয়। যদি তখন চাপ $P_0$ থেকে কমে $P_1$ হয়, তাহলে,

বয়েল-এর সূত্রানুযায়ী, $P_1(V+v)=P_0V$

$$\therefore\ P_1=\left(\frac{V}{V+v}\right)P_0 \qquad (1)$$

পিস্টনটি একবার ওঠবার পর আবার যখন নামবে, তখন H-আধারের বায়ুর চাপ $P_1$ থাকবে, কিন্তু আয়তন $V$ হবে।

প্রথমবার পিস্টনের ওঠা-নামার পর দ্বিতীয়বার যখন পিস্টনটি পুনরায় ওঠা-নামা করে, তখন চাপ আরও কমবে। ধরা যাক, এই হ্রাসপ্রাপ্ত চাপের মান $=P_2$

সুতরাং, বয়েল এর সূত্রানুযায়ী, $P_2(V+v)=P_1V$

$$\text{বা, } P_2=\frac{V}{V+v}P_1 \qquad \text{বা, } P_2=\left(\frac{V}{V+v}\right)^2 P_0 \qquad [\,(1) \text{ থেকে}\,]$$

একই ভাবে, $P_3=\left(\frac{V}{V+v}\right)^3 P_0$  $P_4=\left(\frac{V}{V+v}\right)^4 P_0$, ইত্যাদি হবে।

সুতরাং, পিস্টনটি যদি $n$-বার ওঠা-নামা করে এবং এর ফলে আধারের বায়ুর চাপ যদি $P_n$ হয়, তাহলে,

$$P_n=\left(\frac{V}{V+v}\right)^n P_0$$

যেখানে, R=পৃথিবীর ব্যাসার্ধ, M=পৃথিবীর ভর এবং $v_e$=মুক্তি-বেগ।
আবার আমরা জানি,

$$g=\frac{GM}{R^2} \qquad \text{বা,} \quad GM=gR^2 \qquad (2)$$

1-নং এবং 2-নং সমীকরণ থেকে আমরা পাই,

$$v_e=\sqrt{\frac{2gR^2}{R}} \qquad \text{বা,} \quad v_e=\sqrt{2gR} \qquad (3)$$

ভুকেন্দ্র থেকে $r$ দূরত্বে যদি একটি কৃত্রিম উপগ্রহ পৃথিবীর চারদিকে ঘোরে, তবে তার প্রদক্ষিণ বেগ

$$v=\sqrt{\frac{gR^2}{r}}.$$

যেখানে $g$=ভুপৃষ্ঠে অভিকর্ষজ ত্বরণ ; R=পৃথিবীর ব্যাসার্ধ।

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে,

$$g=980 \text{ cm/sec}^2$$
$$R=6400 \text{ km}$$
$$r=6400+500=6900 \text{ km.}$$

অতএব, $$v=\sqrt{\frac{980\times(6400\times10^5)^2}{6900\times10^5}}$$

$$=\sqrt{\frac{980\times6400\times6400\times10^5\times10^5}{6900\times10^5}}$$

$$=\sqrt{\frac{980\times6400\times64\times10^5}{69}}$$

$$=\sqrt{\frac{98\times64\times64}{69}\times10^8}$$

$$=64\times10^4\times\sqrt{\frac{98}{69}}$$

$$=64\times10^4\times1{\cdot}19$$
$$=76{\cdot}16\times10^4 \text{ cm/sec}$$
$$=7{\cdot}616 \text{ km/sec.}$$

**11.** অনুভূমিক তলে একটি তারের প্রান্তে একটি বস্তুকে ঘূর্ণনের উদ্দেশ্যে তোমাকে একটি বল সরবরাহ করা হ'ল। যদি বস্তুটি সুষম বেগে বৃত্ত বরাবর ঘোরে, তবে তুমি কি কোন কাজ করিতেছ ?

[You are supplying force to rotate a body at the end of a string in horizontal plane. Do you do any work if the body moves with uniform velocity round the circle ? Explain your answer.

কোন বস্তুকণা বৃত্তাকার পথে সমদ্রুতিতে ঘুরতে থাকলে, তার ত্বরণ সর্বদা ব্যাসার্ধ বরাবর কেন্দ্রাভিমুখী হয়ে থাকে। এর উপর ক্রিয়াশীল বলও সর্বদা ব্যাসার্ধ বরাবর কেন্দ্রাভিমুখে ক্রিয়া ক'রে থাকে।

এখন, কাজ = বল × সরণ × $\cos\ \theta = F \times d \times \cos\theta$

এখানে $\theta = 90^\circ$ হওয়ায়, কাজ $= F \times d \times \cos 90^\circ = 0.$

সুতরাং, এখানে কোন কাজ হবে না।

**12.** অভিকেন্দ্র বল একটি বাস্তব বল এবং অপকেন্দ্র বল একটি ছদ্ম বল—এই উক্তির যথার্থতা বিচার কর। একটি তারের একটি প্রান্তে একটি পাথরখণ্ডকে উল্লম্ব তলে ঘোরালে, তারের চরম এবং অবম টানের মান বাহির কর।

[Centripetal force is a real force and centrifugal force is a pseudo force—Justify the statement.

If a stone at the end of a string be whirled round a vertical plane, find out the position of maximum and minimum tension of the string.]

নিউটনের গতিসূত্র প্রযোজ্য সেইসব নির্দেশ-তন্ত্রতে, যা স্থির অথবা সমবেগে সরলরেখায় গতিশীল। কিন্তু যদি নির্দেশ-তন্ত্রের ত্বরণ বা কৌণিক বেগ থাকে, তাহলে নিউটনের গতিসূত্র প্রযোজ্য হবে না। এক্ষেত্রে নিউটনের সূত্র প্রয়োগ করতে হলে, বাস্তব (true) বলের সঙ্গে একটি অলীক বলকে কল্পনা করতে হবে।

উদাহরণস্বরূপ ধরা যাক, এক ব্যক্তি লিফ্‌টে ক'রে সমত্বরণ-সহ নিচের দিকে নামছে। লিফ্‌ট সাপেক্ষে সমস্ত ঘটনা ব্যাখ্যা করা যেতে পারে, যদি ধরা হয়, লিফ্‌টটি স্থির আছে এবং ব্যক্তিটি নিজের ওজন ছাড়া, যা নিচের দিকে কাজ করছে, একটি স্থির বলের ক্রিয়া অনুভব করবে। এই অলীক বলের প্রভাবে ব্যক্তির দেহের কণাগুলির প্রতিক্রিয়ার পরিবর্তন হবে এবং সেই কারণে ব্যক্তিটি একটি ত্বরণ অনুভব করবে।

অপকেন্দ্র-প্রতিক্রিয়াকে সাধারণভাবে অপকেন্দ্র বল বলা হয়। এই প্রতিক্রিয়ার উদ্ভব হয়, যদি কোন বস্তুকে কোন বলের প্রভাবে বৃত্তাকার পথে ঘোরানো যায়। অপকেন্দ্র-প্রতিক্রিয়া—অভিকেন্দ্র বলের সমান ও বিপরীত।

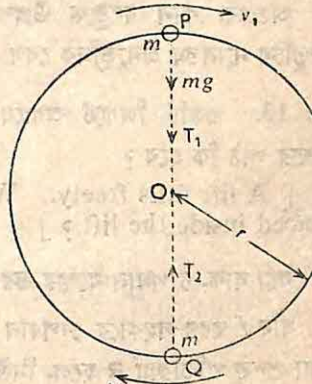



Fig. 15

উপরের যে অপকেন্দ্র বা অলীক বলের কথা বলা হ'ল, তাকে ছদ্ম বলও (pseudo force) বলা হয়। বাস্তব বল বলতে আমরা বুঝি, যার বাস্তব অস্তিত্ব আছে। তাই অভিকেন্দ্র বল—বাস্তব বল। অপকেন্দ্র বলের উদ্ভব হবে তখনই, যখন নির্দেশ-তন্ত্রের ত্বরণ বা ঘূর্ণন থাকবে। কিন্তু যদি নির্দেশ-তন্ত্র স্থির থাকে বা অক্ষাবলীর সরলরৈখিক বেগ থাকে, তবে অপকেন্দ্র বলের বাস্তব অস্তিত্ব থাকে না।

ধরা যাক, একটি $m$ ভরের বস্তু O-কে কেন্দ্র ক'রে বৃত্তাকার পথে উল্লম্ব-তলে ঘুরছে (fig. 15)। বস্তুটি $r$ দৈর্ঘ্যের একটি সুতোর সাহায্যে

এইবার ধরা যাক, H-আধারের বায়ুর প্রাথমিক ঘনত্ব $=D_0$ এবং পিস্টনটি $n$-বার ওঠা-নামার পর H-আধারের বায়ুর ঘনত্ব $=D_n$. যেহেতু, নির্দিষ্ট স্তরের বায়ুর চাপ ও ঘনত্ব সমানুপাতিক, সেহেতু,

$$\frac{D_n}{D_0}=\frac{P_n}{P_0}=\left(\frac{V}{V+v}\right)^n \qquad \text{বা,}\ D_n=\left(\frac{V}{V+v}\right)^n D_0$$

এই সমীকরণ থেকে বুঝতে পারা যায়, পিস্টনটি যতবার ওঠা-নামা করে, H-আধারের বায়ুর ঘনত্বের মান তত কমতে থাকে, কিন্তু কখনও শূন্য হয় না। অর্থাৎ, H-আধারটি সম্পূর্ণ বায়ুশূন্য হয় না।

## উত্তোলক পাম্প ( *Lift Pump* )

উত্তোলক পাম্প সাধারণ পাম্পের মতো। জল বা তরল নিচে থেকে উপরে তোলার কাজে এর ব্যবহার হয়ে থাকে। এটি হস্ত-চালিত বা বিদ্যুৎ-চালিত দু'রকমই হয়। সাধারণ পাম্পের মতো G-মুখটিকে নিম্নাভিমুখী না ক'রে মুখটি ঊর্ধ্বাভিমুখী করা হয় এবং যে-জায়গায় জল তুলতে হবে, সেই জায়গার সঙ্গে যুক্ত করা হয়। এই পাম্পের সাহায্যে অনেক উঁচু জায়গাতেও জল-তোলা সম্ভব হয় (fig. 30)। ঊর্ধ্বগামী নল-G যে-স্থানে চোঙের সঙ্গে যুক্ত, সেই স্থানে একটি ভাল্ভ-H আছে। H-ভাল্ভটি কেবল পাশের দিকে খোলে। কিন্তু, G-নল দিয়ে XY-চোঙে ফিরে আসবার চেষ্টা করলে, H-ভাল্ভ, চোঙ ও G-নলের সংযোগস্থলে শক্ত হয়ে আটকে যায় এবং জল XY-চোঙে আসতে পারে না।

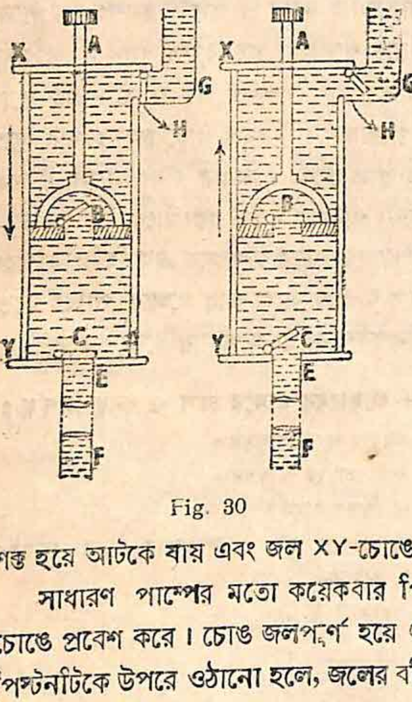


Fig. 30

সাধারণ পাম্পের মতো কয়েকবার পিস্টনকে ওঠা-নামা করালে, জলাধার থেকে জল চোঙে প্রবেশ করে। চোঙ জলপূর্ণ হয়ে G-নলের মুখ পর্যন্ত জল আসে। পরের বারে পিস্টনটিকে উপরে ওঠানো হলে, জলের বর্ধিত চাপে H-ভাল্ভ খুলে যায় এবং নলে জল প্রবেশ করে। পিস্টনের নিম্নচাপে ও G-নলের মধ্যেকার জল-স্তম্ভের চাপে H-ভাল্ভ বন্ধ হয়ে যায়। যতবার পিস্টনের ঊর্ধ্বগতি হবে, ততবারই জল চোঙ থেকে G-নলে প্রবেশ করবে। G-নল বেয়ে জল ক্রমশঃ উপরে উঠবে এবং অবশেষে G-নলের মুখ দিয়ে জল বাইরে আসবে।

দেখা যাচ্ছে, এক্ষেত্রেও EF-নলের উচ্চতা জলাধার থেকে C-ভাল্ভ পর্যন্ত 34 ফুটের বেশী হলে পাম্প কার্যকর হবে না। কিন্তু G-নলে যে-জল প্রবেশ করছে, সেটি সাধারণতঃ বায়ুমণ্ডলের চাপের উপর নির্ভর করে না। সুতরাং, G-নলকে ইচ্ছামতো দীর্ঘ করা যেতে পারে। কিন্তু H-ভাল্ভ খুব শক্ত হওয়া দরকার ব'লে, একে বিভিন্ন প্রক্রিয়ার সাহায্যে উচ্চচাপ-সহ ক'রে নেওয়া হয়। পিস্টনটিকে জোরের সঙ্গে উপরের দিকে টেনে নেবার কাজে অনেক সময় বিদ্যুৎ-শক্তির সাহায্য নেওয়া হয়ে থাকে। পেট্রোল-পাম্পে মাটির নিচের তেল তুলতে এই উত্তোলক পাম্প ব্যবহার করা হয়।

# তাপ-বিজ্ঞান
## ( Heat )

**29.** তাপ এবং তাপমাত্রার মধ্যে পার্থক্য কি ? দুটি থার্মোমিটারের মধ্যে একটি থার্মোমিটারের কুণ্ড গোলকাকার এবং অপর কুণ্ডটি—বেলনাকার। তাপমাত্রার পরিবর্তন কোন্ থার্মোমিটারে অপেক্ষাকৃত দ্রুত ধরা পড়বে ?

[ Distinguish between heat and temperature. There are two thermometers—one with spherical bulb and the other with cylindrical bulb. Which of them will respond more quickly to heat ? ]

● **তাপ** ( *Heat* )

**সংজ্ঞা ঃ** যে বাহ্যিক কারণের জন্য প্রত্যক্ষ বা পরোক্ষভাবে কোন ঠাণ্ডা বস্তু গরম হয়ে যায় অথবা গরম বস্তু ঠাণ্ডা হয়ে যায়, তাকেই তাপ বলে।

● **তাপমাত্রা** ( *Temperature* )

**সংজ্ঞা ঃ** **তাপমাত্রা** বা **উষ্ণতা** (temperature) কোন পদার্থের এমন একটি বিশেষ অবস্থা, যা দ্বারা তাপপ্রবাহের দিক্ নির্দিষ্ট হয়।

● **তাপ ও তাপমাত্রার পার্থক্য** ( *Difference between Heat & Temperature* )

(i) তাপ (heat) একরকম **শক্তি—**এর কাজ করবার ক্ষমতা আছে। কিন্তু **তাপমাত্রা** (temperature) বস্তুর এমন এক **তাপীয় অবস্থা—**যেটা বস্তু কতটা ঠাণ্ডা বা কতটা গরম—সেটা বোঝায়।

(ii) অবস্থার পরিবর্তন না ঘটিয়ে বস্তুতে তাপ দিতে থাকলে, বস্তুর তাপমাত্রা বা উষ্ণতা বাড়তে থাকে, অর্থাৎ, তাপ—তাপমাত্রার সমানুপাতিক।

(iii) দুটি বস্তুর **তাপমাত্রা বা উষ্ণতা** এক হলেও তাদের **মোট তাপের** পরিমাণ এক না-ও হতে পারে।

(iv) দুটি বস্তুর **তাপের পরিমাণ** এক হলেও তাদের **তাপমাত্রা** বা **উষ্ণতা** সমান না-ও হতে পারে।

(v) তাপ কোন্ দিকে প্রবাহিত হবে—সেটা বস্তুতে তাপের পরিমাণের উপর নির্ভর করে না, করে **তাপমাত্রার** উপর।

আমরা জানি যে, কোন বস্তুর ভিতর দিয়ে প্রবাহিত তাপ, ক্ষেত্রফলের সমানুপাতিক হয়। গোলকাকার বস্তুর পৃষ্ঠতলের ক্ষেত্রফল সর্বনিম্ন এবং বেলনাকার বস্তুর পৃষ্ঠতলের ক্ষেত্রফল, গোলকাকার বস্তুর পৃষ্ঠতলের ক্ষেত্রফল অপেক্ষা বেশী।

কেন্দ্রের সঙ্গে যুক্ত। বস্তুটি বৃত্তাকার পথে ঘুরতে থাকার সময়, যখন উপরের দিকে উঠবে, তখন দ্রুতি কমবে এবং নিচের দিকে নামার সময় দ্রুতি বাড়বে। অতএব, বস্তুর গতি অসম।

ধরা যাক, $v_1$ এবং $v_2$—যথাক্রমে বস্তুটির সর্বোচ্চ এবং সর্বনিম্ন বিন্দুতে বেগ ও $T_1$ এবং $T_2$—যথাক্রমে ঐ দুই বিন্দুতে সুতোর টান। সুতরাং,

$$T_1 + mg = \frac{mv_1^2}{r} \qquad (1)$$

$$T_2 - mg = \frac{mv_2^2}{r} \qquad (2)$$

যখন বস্তুটি সর্বোচ্চ বিন্দু থেকে সর্বনিম্ন বিন্দুতে আসবে, তখন বস্তুটি $2mgr$ পরিমাণ স্থিতিশক্তি হারাবে এবং সমপরিমাণ গতিশক্তি লাভ করবে। ঐ গতিশক্তির পরিমাণ $= \frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2$.

শক্তির নিত্যতা-সূত্র অনুযায়ী লেখা যায়,

$$\tfrac{1}{2}mv_2^2 - \tfrac{1}{2}mv_1^2 = 2mgr \qquad (3)$$

বা, $$v_2^2 - v_1^2 = 4gr \qquad (4)$$

বস্তুর একটি সর্বোচ্চ বেগ পর্যন্ত সুতোটি বলটিকে ধ'রে রাখতে পারবে। বস্তুর বেগ—এই সর্বোচ্চ বেগের (বা সংকট বেগের) বেশী হলে সুতোটি ছিঁড়ে যাবে। এই সর্বোচ্চ বেগের মান বার করা যায়, যদি $T_1 = 0$ ধরা যায়। সেক্ষেত্রে 1-নং সমীকরণকে

লেখা যায়, $\frac{mv_1^2}{r} = mg$ বা, $v_1 = \sqrt{gr}$ (5)

$v_1$-এর মান 4-নং সমীকরণে বসিয়ে পাই,

$$v_2^2 = 4gr + gr = 5gr \qquad v_2 = \sqrt{5gr}$$

অতএব, কোন বস্তুকে উল্লম্ব-তলে $r$ ব্যাসার্ধের বৃত্তাকার পথে ঘোরাতে গেলে বস্তুটির ন্যূনতম অনুভূমিক বেগ $\sqrt{5gr}$ হওয়া প্রয়োজন।

13. একটি লিফ্‌ট অবাধে নীচে নামছে। লিফটের ভিতরে-রাখা একটি চাপমান যন্ত্রের পাঠ কি হবে?

[A lift falls freely. What would be the reading of a barometer placed inside the lift ?]

ধরা যাক, চাপমান যন্ত্রের ভর $= M$

যদি $f$ ত্বরণ-সহকারে চাপমান যন্ত্রটি নীচের দিকে নামে, তখন লিফ্‌টের ভূমি দ্বারা প্রদত্ত প্রতিক্রিয়া $R$ হলে, নিউটনের দ্বিতীয় গতিসূত্র অনুসারে,

$$Mg - R = Mf$$

বা, $$R = M(g - f)$$

সুতরাং দেখা যাচ্ছে, লিফ্‌ট নীচের দিকে নামার দরুন ত্বরণ কমে যাবে। বায়ুমণ্ডলের চাপ নির্দিষ্ট ব'লে ($h \rho g$), $h$ অর্থাৎ চাপমান যন্ত্রের পারদ-স্তম্ভের উচ্চতা বেড়ে যাবে। মনে করা হ'ল, নির্ণেয় উচ্চতা $= h'$

$$\therefore \quad \rho(g-f)\, h' = h \rho g$$

$$\text{বা} \quad h' = \frac{hg}{g-f}.$$

**14.** পৃথিবীর ব্যাস বরাবর একটি সুড়ঙ্গ কাটা হ'ল এবং একটি মার্বেলকে সেই সুড়ঙ্গ বরাবর ফেলা হ'ল। মার্বেলের গতির প্রকৃতি ব্যাখ্যা কর।

[ A tunnel is dug along a diameter of the earth and a marbel is dropped along the tunnel. Explain the nature of motion of the marbel. ]

পৃথিবীর যে-কোন ব্যাস বরাবর এক প্রান্ত থেকে অপর প্রান্ত পর্যন্ত একটি সুড়ঙ্গ কাটা হ'ল। একটি মার্বেলকে সুড়ঙ্গ বরাবর ফেলা হলে প্রমাণ করা যায় যে, ঐ সুড়ঙ্গের ভিতর দিয়ে উক্ত মার্বেলের গতি সরল দোলগতি (simple harmonic motion) সম্পন্ন হবে এবং মার্বেলটি এক প্রান্ত থেকে অপর প্রান্ত পর্যন্ত চলাচল করতে থাকবে।

ধরা হ'ল, পৃথিবী R-ব্যাসার্ধ-বিশিষ্ট একটি গোলক (fig. 16)। এর ব্যাস বরাবর সুড়ঙ্গটি হচ্ছে AB. মনে করি, পৃথিবীর কেন্দ্র থেকে $x$ দূরত্বে এবং $t$ সময়ে $m$-ভর-বিশিষ্ট মার্বেলটি C বিন্দুতে আছে। মার্বেলটি $x$-ব্যাসার্ধ-বিশিষ্ট একটি গোলকের উপরিতলে এবং $x$ থেকে R-এর মধ্যে অবস্থিত ব্যাসার্ধ-বিশিষ্ট কক্ষগুলির মধ্যে আছে। যেহেতু কক্ষের মধ্যে প্রাবল্য নেই, সুতরাং C-এর উপর আকর্ষণীয় বল শুধুমাত্র $x$-ব্যাসার্ধ-বিশিষ্ট গোলকটির জন্য হবে। গোলকটির উপরিতলে একটি বিন্দুর অবস্থানের জন্য এর সম্পূর্ণ ভর হচ্ছে $x$-ব্যাসার্ধ-বিশিষ্ট গোলকের ভর।

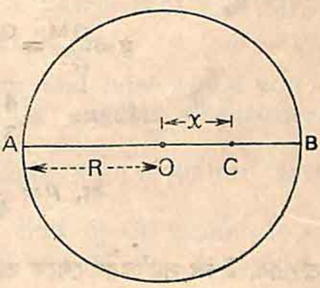


Fig. 16

সুতরাং, $t$ সময়ে মার্বেলের উপর ক্রিয়াশীল বল

$$F = G.\, m \frac{(x\text{-ব্যাসার্ধ-বিশিষ্ট গোলকটির ভর})}{x^2}$$

$$= G.\, m\left(\frac{4\pi}{3}\right)\left(\frac{x^3 \rho}{x^2}\right)$$

$$= G \rho m x \times \frac{4}{3}\pi$$

সুতরাং, মার্বেলটির গতির সমীকরণ হবে

$$m\frac{d^2x}{dt^2}=-\frac{4}{3}\pi\,\mathrm{G}\,\rho\,mx$$

বা, $$\frac{d^2x}{dt^2}=-\frac{4}{3}\pi\,\mathrm{G}\,\rho\,x$$

বা, $$\frac{d^2x}{dt^2}=-\omega^2x$$

বা, $$\frac{d^2x}{dt^2}+\omega^2x=0 \qquad (1)$$

যেখানে $\omega^2=\frac{4}{3}\pi\,\mathrm{G}\,\rho$

1-নং সমীকরণটি হচ্ছে একটি সরল-দোলগতি-সম্পন্ন কোন বস্তুকণার অন্তরকলন সমীকরণ।

যদি মার্বেলটির দোলন-কাল T হয়, তবে দোলন-কালের রাশিমালা হবে

$$\mathrm{T}=\frac{2\pi}{\omega}=2\pi\sqrt{\frac{3}{4\pi\,\mathrm{G}\,\rho}} \qquad (2)$$

পৃথিবীপৃষ্ঠে অভিকর্ষজ ত্বরণ $g$ এবং পৃথিবীর ভর M হলে,

$$g=\frac{\mathrm{GM}}{\mathrm{R}^2}=\frac{\mathrm{G}.\frac{4}{3}\pi\mathrm{R}^3\rho}{\mathrm{R}^2}$$

$$=\frac{4}{3}\pi\,\mathrm{G}\,\mathrm{R}\,\rho$$

বা, $$\rho=\frac{3g}{4\pi\,\mathrm{R}\,\mathrm{G}}$$

অতএব, 2-নং সমীকরণ থেকে আমরা পাই,

$$\mathrm{T}=2\pi\sqrt{\frac{\mathrm{R}}{g}} \qquad (3)$$

15. একটি ছিদ্র-যুক্ত ফাঁপা গোলকাকার পিণ্ড-বিশিষ্ট একটি সরল দোলক নেওয়া হ'ল। দোলন-কালের কি পরিবর্তন ঘটবে, যদি—

(i) একটি তরল-পূর্ণ পিণ্ডযুক্ত দোলকটিকে দোলায়িত করা হয়।

(ii) আংশিকভাবে তরল-পূর্ণ পিণ্ডযুক্ত দোলকটিকে দোলায়িত করা হয়।

কারণ-সহ ব্যাখ্যা কর।

[A simple pendulum with a hollow spherical bob is taken. How will the period be affected if

(i) the pendulum be oscillated with bob, completely filled with a liquid.

(ii) the pendulum be oscillated with the bob, partly filled with the liquid.

Give reasons for your answer. ]

(i) ফাঁপা গোলকীয় দোলকপিণ্ডটিকে সম্পূর্ণ তরল দ্বারা ভর্তি করা হলে, দোলকটির দোলন-কালের কোন পরিবর্তন হবে না। কারণ, ভারকেন্দ্র—গোলকীয় দোলকপিণ্ডের কেন্দ্রেই থাকবে। এইক্ষেত্রে সরল দোলকের কার্যকরী দৈর্ঘ্য একই থাকবে।

(ii) ফাঁপা গোলকীয় দোলকপিণ্ডটির অর্ধেকটা তরল দ্বারা ভর্তি করা হলে, সরল দোলকের দোলন-কাল বেড়ে যাবে ; কারণ, ভারকেন্দ্র—গোলকীয় দোলকপিণ্ডের কেন্দ্রের নীচে নেমে যাবে। এই ক্ষেত্রে সরল দোলকের কার্যকরী দৈর্ঘ্য $l$ বেড়ে যাবে। আমরা জানি যে,

$$T \propto \sqrt{l}$$

সুতরাং, $l$ বৃদ্ধি পেলে T-এর মান বাড়বে।

**16.** সরল দোলকের সূত্রগুলি বিবৃত কর এবং পরীক্ষা দ্বারা কিভাবে ইহাদের সত্যতা প্রমাণ করা যায়? কৌণিক সরণ 4°-এর বেশী হলে কি ক্ষতি হবে? দোলকের সাহায্যে কিভাবে পাহাড়ের উচ্চতা নির্ণয় করা যায়, তাহা বিবৃত কর।

একটি ত্রুটিপূর্ণ সেকেণ্ড-দোলক দিনে 20 সেকেণ্ড ক'রে ধীরে চলে। এর কার্যকরী দৈর্ঘ্য কতটা পরিবর্তন করলে এটি সঠিক সময় দেবে?

[ State the laws of simple pendulum and how would you verify them experimentally. What would be the angular displacement be greater than 4° ?

How would you determine the height of a mountain with the help of a pendulum.

A faulty second's pendulum goes slow by 20 seconds in a day. How will the effective length be changed so that the pendulum may keep correct time. ]

● **সরল দোলকের সূত্রাবলী** ( *Laws of Simple Pendulum* )

সরল দোলকের সূত্রগুলি হ'ল নিম্নরূপ ঃ

1. **সমকাল-সূত্র** (law of isochronism) ঃ বিস্তার যদি 4°-এর অনধিক হয়, তাহলে, বিস্তারের হ্রাস-বৃদ্ধি হলেও কোন দোলকের দোলন-কাল ( তথা, কম্পাঙ্ক ) অপরিবর্তিত থাকে। পরীক্ষার সাহায্যে সহজেই দেখা যায় যে, 4° ডিগ্রীর বেশী নয়, অথচ বিভিন্ন বিস্তারের দোলন-কাল সর্বদা সমান।

2. **দৈর্ঘ্য-সূত্র** (law of length) ঃ নির্দিষ্ট স্থানে নির্দিষ্ট দোলকের দোলন-কাল, দোলক-দৈর্ঘ্যের বর্গমূলের সমানুপাতিক।

অর্থাৎ, দোলক-দৈর্ঘ্য L ও দোলন-কাল T হলে, সত্রানুযায়ী, $T \propto \sqrt{L}$.

3. **অভিকর্ষজ ত্বরণ-সূত্র** (law of acceleration due to gravity) ঃ দোলক-দৈর্ঘ্য একই থাকলে দোলকের দোলন-কাল অভিকর্ষজ ত্বরণের বর্গমূলের ব্যস্তানুপাতিক হবে।

অর্থাৎ, দোলন-কাল T ও অভিকর্ষজ ত্বরণ $g$ হলে, সূত্রানুযায়ী, $T \propto \frac{1}{\sqrt{g}}$.

4. **ভর-সূত্র** (law of mass) ঃ দোলক-দৈর্ঘ্য একই থাকলে কোন নির্দিষ্ট স্থানে দোলন-কাল—দোলক-পিণ্ডের আকার, উপাদান ও ভরের উপর নির্ভর করে না। অর্থাৎ, দোলক-পিণ্ড—লোহা, সীসা বা তামা, বড় বা ছোট, গোল বা বেলনাকৃতি—যাই হোক, দোলক-দৈর্ঘ্য না বদলালে ঐ স্থানে দোলন-কাল অপরিবর্তিত থাকবে।

● **দোলক-সূত্রের সত্যতা নিরূপণ করার পরীক্ষা**

**প্রথম সূত্র ঃ** একটি লোহার ভারী বল একটি সুতোর এক প্রান্তে বেঁধে, অপর প্রান্ত কোন স্থির অবলম্বনে ঝুলিয়ে দিয়ে একটি সরল দোলক প্রস্তুত করা হ'ল (fig. 17)। লোহার বলটি এক্ষেত্রে দোলক-পিণ্ড হ'ল। পিণ্ডটিকে একপাশে অল্প টেনে ছেড়ে দিলে, এটি দুলতে আরম্ভ করবে। কুড়িটি দোলনে কত সময় লেগেছে, সেটি একটি স্টপ্-ঘড়ির (stop-watch) সাহায্যে নির্ণয় করা হ'ল। ঐ সময়কে কুড়ি দিয়ে ভাগ করলে দোলন-কাল পাওয়া যাবে। দোলকটিকে বিভিন্ন বিস্তারে ( 4°-র অনধিক ) দুলিয়ে অনুরূপভাবে দোলন-কাল নির্ণয় করলে, দেখা যাবে যে, দোলন্-কাল সর্বদা একই হচ্ছে। এর থেকে প্রথম সূত্র প্রমাণিত হ'ল।

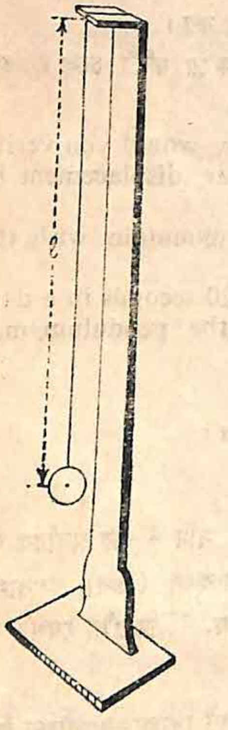


Fig. 17

**দ্বিতীয় সূত্র ঃ** স্থির অবলম্বন থেকে পিণ্ডটির মাথা পর্যন্ত বস্তুটির দৈর্ঘ্য মাপা হ'ল। স্লাইড ক্যালিপার্সের সাহায্যে পিণ্ডটির ব্যাস মাপা হ'ল। এর অর্ধেক আগের দৈর্ঘ্যের সঙ্গে যোগ দিয়ে দোলক-দৈর্ঘ্য পাওয়া গেল। এর পর পিণ্ডটিকে একপাশে অল্প টেনে ছেড়ে দেওয়া হ'ল। লক্ষ্য রাখা হ'ল যে, কৌণিক বিস্তার যেন কম হয় ও পিণ্ডটি যেন **উপবৃত্তীয় পথে** বা লাট্টুর **মতো** না ঘোরে। একটি ছোট ও বৃত্তীয় চাপে পিণ্ডটিকে দুলতে হবে। স্টপ্-ঘড়ির সাহায্যে কুড়িটি সম্পূর্ণ দোলনের সময় বার করা হ'ল। একে কুড়ি দিয়ে ভাগ ক'রে দোলন-কাল পাওয়া গেল। মনে করি, দোলক-দৈর্ঘ্য $L_1$ ও দোলন-কাল $T_1$-এর পর দোলক-দৈর্ঘ্য বদলে $L_2$, $L_3$, ...

করা হ'ল এবং মনে করা যাক, দোলন-কাল যথাক্রমে $T_2$, $T_3$, ··· ইত্যাদি হ'ল; আমরা দেখবো যে,

$$\frac{T_1}{\sqrt{L_1}} = \frac{T_2}{\sqrt{L_2}} = \frac{T_3}{\sqrt{L_3}} = \cdots\cdots \text{ ধ্রুবক (constant)।}$$

বা, $T \propto \sqrt{L}$, অর্থাৎ, দ্বিতীয় সূত্র প্রমাণিত হ'ল।

**তৃতীয় সূত্র ঃ** একটি নির্দিষ্ট দোলক-দৈর্ঘ্যের সরল দোলককে পৃথিবীর বিভিন্ন স্থানে নিয়ে গিয়ে দোলন-কাল নির্ণয় করতে হবে। ধরা যাক, কোন স্থানে অভিকর্ষজ ত্বরণের মান $g_1$ এবং দোলন-কাল $T_1$ ; অপর কোন স্থানে অভিকর্ষজ ত্বরণ $g_2$ ও দোলন-কাল $T_2$ ; তাহলে আমরা দেখবো যে,

$$T_1 \cdot \sqrt{g_1} = T_2 \cdot \sqrt{g_2} = \cdots = \text{ ধ্রুবক (constant)}$$

$$\text{বা, } T \propto \frac{1}{\sqrt{g}}$$

এর থেকে তৃতীয় সূত্র প্রমাণিত হ'ল।

**চতুর্থ সূত্র ঃ** বিভিন্ন ভর, আয়তন ও পদার্থের তৈরী কয়েকটি পিণ্ড নিয়ে কয়েকটি সমান দৈর্ঘ্যের ($L_1$) সরল দোলক তৈরী করা হ'ল। এইবার দোলকগুলির দোলন-কাল নির্ণয় করলে দেখা যাবে যে, প্রতি ক্ষেত্রেই দোলন-কাল একই রকমের হচ্ছে। এর থেকে বোঝা যায় যে, বস্তুর ভর, আকার বা উপাদানের উপর দোলন-কাল নির্ভরশীল নয় (fig. 18)।

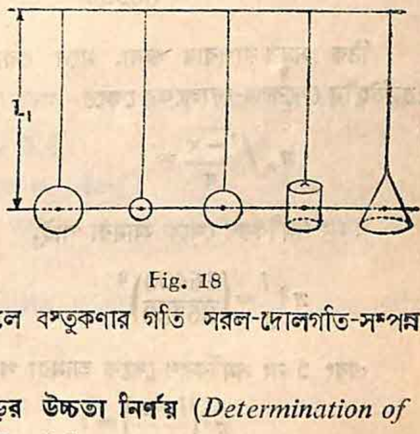


Fig. 18

কৌণিক বিস্তারের মান 4°-এর বেশী হলে বস্তুকণার গতি সরল-দোলগতি-সম্পন্ন হবে না। গতিটি বৃত্তাকার হবে।

**● সরল দোলকের সাহায্যে কোন পাহাড়ের উচ্চতা নির্ণয়** (***Determination of Height of a Mountain by Simple Pendulum***)

কোন পাহাড়ের উচ্চতা মোটামুটিভাবে সরল দোলকের সাহায্যে নির্ণয় করা যেতে পারে। প্রথমে পাহাড়ের নিচে দোলকের সাহায্যে $g$-এর মান বার ক'রে নেওয়া হ'ল। এর পরে পাহাড়ের শীর্ষে $g$-এর মান বার করা হ'ল। ধরা যাক, এই মান $g'$ হ'ল। তাহলে, মহাকর্ষের সূত্রানুযায়ী,

$$\text{পাহাড়ের নিচে, } g = \frac{GM}{R_2} \qquad (1)$$

$$\text{পাহাড়ের শীর্ষে, } g' = G\frac{M}{(R+h)^3} \qquad (2)$$

M হ'ল পৃথিবীর ভর ; R হ'ল পৃথিবীর ব্যাসার্ধ ও $h$ হ'ল পাহাড়ের উচ্চতা।

1-নং সমীকরণকে 2-নং সমীকরণ দিয়ে ভাগ ক'রে, $\frac{g}{g'}=\frac{(R+h)^2}{R^2}$

বা, $\frac{g}{g'}=\left(1+\frac{h}{R}\right)^2$

বা, $\frac{g}{g'}=1+2\frac{h}{R}$ $\left[\frac{h^2}{R^2}\right.$ অত্যন্ত ক্ষুদ্র ব'লে অবজ্ঞা করা হ'ল$\left.\right]$

বা, $h=\frac{R(g-g')}{2g'}$ (3)

পরীক্ষার সাহায্যে আমরা $g$ ও $g'$ নির্ণয় করেছি। পৃথিবীর ব্যাসার্ধ কত জানলেই আমরা 3-নং সমীকরণ থেকে পাহাড়ের উচ্চতা নির্ণয় করতে পারি।

একদিন $=24\times60\times60=86400$ সেকেণ্ড।

অতএব, সেকেণ্ড-দোলক দিনে 20 সেকেণ্ড ধীরে গেলে ত্রুটিপূর্ণ দোলকটি প্রতিদিনে $(86400-20)=86380$ বার স্পন্দিত হয়।

অতএব, $\pi\sqrt{l/g}=\frac{86400}{86380}$ (4)

ঠিক সময় রাখবার জন্য, মনে করা হ'ল, দৈর্ঘ্য $x$ cm কমাতে হবে। অতএব, ত্রুটিহীন সেকেণ্ড-দোলকের ক্ষেত্রে

$$\pi\sqrt{\frac{l-x}{g}}=1 \quad (5)$$

4-নং সমীকরণ থেকে আমরা পাই,

$$\pi^2\frac{l}{g}=\left(\frac{86400}{86380}\right)^2$$

এবং 5-নং সমীকরণ থেকে আমরা পাই,

$$\pi^2\left(\frac{l-x}{g}\right)=1$$

বা, $\frac{\pi^2 l}{g}-\pi^2\frac{x}{g}=1$

বা, $\pi^2\frac{x}{g}=\left(\frac{86400}{86380}\right)^2-1$

$$=\left(1+\frac{20}{86380}\right)^2-1$$

$$=1+\frac{2\times20}{86380}-1=\frac{40}{86380}$$

$$\text{বা,}\quad x=\frac{g}{\pi^2}\times\frac{40}{86380}$$
$$=\frac{980\times 40}{9{\cdot}86\times 86380}$$
$$=\cdot 04602 \text{ cm.}$$

**17.** স্থিত ঘর্ষণের সূত্রগুলি বিবৃত কর। স্থিত-ঘর্ষণের গুণাঙ্কের সংজ্ঞা লেখ। বিরাম কোণের সংজ্ঞা লেখ। বিরাম কোণ এবং ঘর্ষণ-গুণাঙ্কের সম্পর্ক প্রতিষ্ঠা কর।

একটি কণাকে উপরের দিকে একটি নততল বরাবর কোন বেগের সহিত ছোঁড়া হ'ল এবং উহা অনুভূমিক তলের সহিত 30° কোণ সৃষ্টি ক'রলো। ঘর্ষণ-গুণাংক ·30 হলে কণার মন্দন বাহির কর। ( অভিকর্ষজ ত্বরণ = $g$ cm/sec$^2$ )

[ State the laws of statical friction. Define co efficient of statical friction. Define angle of repose. Find out the relation between the angle of repose and co-efficient of friction.

A particle is thrown upward along an inclined plane with certain velocity. The angle of inclination of the inclined plane with the horizontal plane and the co-efficient of friction are respectively 30° and ·30. Calculate the retardation of the particle. (Acceleration due to gravity is $g$ cm/sec$^2$.) ]

### ● স্থিত-ঘর্ষণের সূত্র

স্থিত-ঘর্ষণ সম্পর্কিত বিজ্ঞানী এ. কুলম্ব এবং এ. টি. ম্যারিন-এর সূত্রগুলি হ'ল :—

(I) ঘর্ষণ সর্বদা গতির বিপরীতে কাজ করে।

(ii) প্রান্তিক ঘর্ষণ লম্ব-প্রতিক্রিয়ার সমানুপাতিক।

(iii) ঘর্ষণ-বলের মান বস্তু-দুটির সংযুক্ত তলের প্রকৃতি এবং অবস্থার উপর নির্ভর করে।

(iv) ঘর্ষণ বল বস্তু-দুটির পরস্পর সংলগ্ন তলের ক্ষেত্রফল এবং এদের গতির উপর নির্ভর করে না।

### ● স্থিত-ঘর্ষণ-গুণাংক

স্থিত-ঘর্ষণের সূত্রানুসারে ঘর্ষণ-বল এবং প্রতিক্রিয়া বল পরস্পর সমানুপাতিক।

অর্থাৎ, যদি ঘর্ষণের সীমারেখায় ঘর্ষণ-বল F এবং অভিলম্ব বরাবর প্রতিক্রিয়া R হয়, তবে

$$F \propto R$$

$$\text{বা,}\quad F = \mu R$$

যেখানে $\mu$ একটি ধ্রুবক। এই ধ্রুবক $\mu$-কে বলা হয় স্থিত-ঘর্ষণ-গুণাংক।

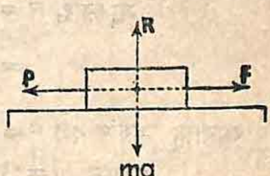


Fig. 19

$$\therefore\quad \mu=\frac{F}{R}=\frac{\text{ঘর্ষণের সীমামান}}{\text{অভিলম্ব প্রতিক্রিয়া}}\text{।}$$

● **বিরাম কোণ বা স্থিতি কোণ**

**সংজ্ঞা :** কোন নততলের যে-নতিকোণে উক্ত তলের উপর অবস্থিত কোন স্থির বস্তু, উহার নিজ-ওজন-জনিত বলের ক্রিয়ায় তল-বরাবর ঠিক নিচের দিকে গতিশীল হবার উপক্রম হয়, তাহাকে স্থিতি কোণ বা বিরাম কোণ বলে।

**বিরাম কোণ এবং ঘর্ষণ-গুণাঙ্কের সম্পর্ক প্রতিষ্ঠা :**

AC তলটি AB অনুভূমিক তলের সঙ্গে $\theta$ কোণে নত। মনে করা যাক, CA তল বরাবর একটি বস্তু (W) ঠিক নিচে গড়িয়ে পড়বার মতো অবস্থায় রাখা আছে (fig. 20)। বস্তুটির ওজন W এবং R হচ্ছে লম্ব-প্রতিক্রিয়া (normal reaction)। যেহেতু বস্তুটির গতি নিম্নাভিমুখী, সেহেতু ঘর্ষণ-বল $\mu R$, AC তল-বরাবর উপরের দিকে ক্রিয়া করবে। এখন বস্তুর ওজনকে CA এবং CA-র লম্ব-অভিমুখে বিভাজিত ক'রে পাই—

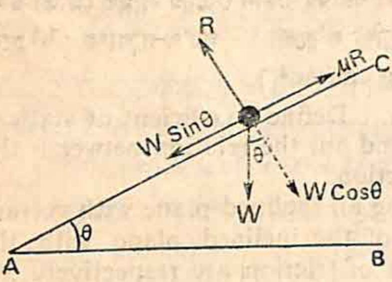



Fig. 20

$$R = W\cos\theta$$
$$F = \mu R = W\sin\theta$$

অতএব, $\mu = \frac{F}{R} = \frac{W\sin\theta}{W\cos\theta} = \tan\theta.$

ইহাই হ'ল বিরাম কোণ এবং ঘর্ষণ-গুণাঙ্কের সম্পর্কযুক্ত সমীকরণ।

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে,

প্রতিক্রিয়া বল $R = W\cos\theta$
$= mg\cos\theta.$

যেখানে $m$ = বস্তুকণার ভর ;
$g$ = অভিকর্ষজ ত্বরণ।

এখানে $\theta = 30^\circ$

সুতরাং, $R = mg\cos 30^\circ$
$= mg \times \frac{\sqrt{3}}{2}$

আবার, ঘর্ষণ-বল $F = \mu R$ যেখানে $\mu$ = ঘর্ষণ-গুণাঙ্ক।

এখানে $\mu = \cdot 30.$

সুতরাং $F = \cdot 30 \times mg \times \frac{\sqrt{3}}{2}$

আবার, $F = mf$ যেখানে $f$ = বস্তুকণার মন্দন।

অতএব, $mf = \cdot 30 \times mg \times \sqrt{\frac{3}{2}}$

বা, $f = \frac{\cdot 30 \times \sqrt{3}}{2} \times g$

$= \cdot 2598\ g\ cm/sec^2.$

$g = 980\ cm/sec^2$ হলে মন্দন হ'বে —

$f = \cdot 2598 \times 980$

$= 254 \cdot 6\ cm/sec^2.$

18. কার্য, শক্তি এবং ক্ষমতার সংজ্ঞা দাও। প্রমাণ কর যে, অভিকর্ষের প্রভাবে পতনশীল কোন বস্তুর মোট শক্তির যোগফল ধ্রুবক, যতক্ষণ পর্যন্ত না বস্তুটি ভূমি স্পর্শ করে। ভূমি স্পর্শ করলে কি হবে ?

[Define work, energy and power. Show that the total energy of a body falling under gravity is constant, so long it does not touch the ground. What happens when it touches the ground ?

● কাজ ( *Work* )

**কোন বস্তুর উপরে বল-প্রয়োগের ফলে যদি বস্তুটির অবস্থানের পরিবর্তন ঘটে, তাহলে প্রযুক্ত বল কাজ করেছে, বলা হয়।**

একটি বল বস্তুর উপর প্রযুক্ত হয়ে কতটা কাজ করেছে, সেটি কার্যকর বল এবং বলের প্রয়োগ-বিন্দুর সরণের গুণফল দ্বারা নির্ণীত হয়ে থাকে। পাশের চিত্রে [ fig. 21 ( বাঁদিকের চিত্র ) ] P কার্যকর বল ও $d$ প্রয়োগ-বিন্দুর সরণ ব'লে, কাজকে W বললে, $W = P \times d$.

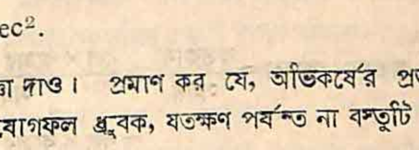


Fig. 21

কিন্তু যদি বলের দিক্ ও বস্তুর সরণের দিক্ বিভিন্ন হয় [ fig. 21 ( ডানদিকের চিত্র ) ], তাহলে সরণের দিকে আঁকা, বলের বিভাজিত অংশই কার্যকর বল হয়ে থাকে।

সেক্ষেত্রে কার্যকর বল $= P \cos \theta$. $\therefore\ W = P \cos \theta \times d$

যদি $\theta = 90^\circ$ হয়, তবে $W = P \times \cos 90^\circ \times d = 0$. $[\because\ \cos 90^\circ = 0]$

অর্থাৎ, বলের সঙ্গে সরণের $90^\circ$ কোণ হলে কোন কাজ হবে না।

● শক্তি ( *Energy* )

**কোন বস্তু বা পদার্থের কাজ করবার সামর্থ্যকে শক্তি বলে।** যান্ত্রিক শক্তিকে মোটামুটি দু'ভাগে ভাগ করা যায়। যথা— 1. স্থিতিশক্তি ; 2. গতিশক্তি।

স্থিতিশক্তি $= mgh$, যেখানে $m =$ বস্তুর ভর, $g =$ অভিকর্ষজ ত্বরণ, $h =$ উচ্চতা।

গতিশক্তি $= \frac{1}{2}mv^2$, যেখানে $m =$ বস্তুর ভর, $v =$ বেগ।

এই কারণে বেলনাকার কুণ্ডটির মধ্য দিয়ে তাপ দ্রুত হারে পরিবাহিত হবে। ফলে, গোলকাকার-কুন্ড-বিশিষ্ট থার্মোমিটার অপেক্ষা বেলনাকার-কুণ্ড-বিশিষ্ট থার্মোমিটারটি অপেক্ষাকৃত দ্রুত তাপমাত্রার পরিবর্তন নির্দেশ করবে।

**30.** একটি থার্মোমিটারের নিম্ন-স্থিরাঙ্ক এবং উর্ধ্ব-স্থিরাঙ্ক যথাক্রমে ·5° এবং 101°. উক্ত থার্মোমিটারের পাঠ 100°F তাপমাত্রায় কত হবে?

[The lower and upper fixed points of a thermometer are ·5° and 101°. What will be the reading of this thermometer corresponding to 100°F ? ]

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে,

থার্মোমিটারের নিম্ন স্থিরাঙ্ক = ·5°

" উর্ধ্ব স্থিরাঙ্ক = 101°

অতএব, উক্ত থার্মোমিটারের প্রাথমিক ব্যবধান $= 101° - ·5° = 100·5°$

সুতরাং, $\frac{F-32}{180} = \frac{x - ·5}{100·5}$

বা, $\frac{100-32}{180} = \frac{x-·5}{100·5}$

বা, $\frac{68}{180} = \frac{x-·5}{100·5}$

বা, $x - ·5 = \frac{100·5 \times 68}{180} = 37·97$

বা, $x = 37·97 + ·5 = 38·47$

∴ নির্ণেয় তাপমাত্রা = 38·47°.

**31.** একটি কঠিনের তিনটি প্রসারণ-গুণাঙ্কের সংজ্ঞা দাও; উহাদের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন কর।

(ক) একই আকৃতির একটি তামার এবং ইস্পাতের দুটি পাত নিয়ে রিভেট করা হ'ল। এই সমবায়কে উত্তপ্ত করলে কি হবে, তাহা ব্যাখ্যা কর।

(খ) একটি ইস্পাত স্কেল 0°C তাপমাত্রায় সঠিক পাঠ দেয়। 10°C তাপমাত্রায় এই স্কেলের সাহায্যে পরিমাপ করা হলে, একটি তামার দণ্ড 1·00007 মিটার দেখায়। 0°C তাপমাত্রায় তামার দণ্ডের প্রকৃত দৈর্ঘ্য কত?

তামার দৈর্ঘ্য-প্রসারণ-গুণাঙ্ক $= 19 \times 10^{-6}$ প্রতি ডিগ্রি সে.-তে

ইস্পাতের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ-গুণাঙ্ক $= 12 \times 10^{-6}$ প্রতি ডিগ্রি সে.-তে

[ Define three co-efficients of expansion of a solid. How are these related ?

(a) One copper strip and strip of steel identical dimension are rivetted together. Explain what would happen when the combination is heated.

(b) A scale of steel gives correct reading at 0°C. A copper rod shows 1·00007 metre when measured by this scale at 10°C. Calculate the actual length of the copper rod at 0°C.

Co-efficient of linear expansion of copper $= 19 \times 10^{-6}$ per °C.
Co-efficient of linear expansion of steel $= 12 \times 10^{-6}$ per °C.

● **কঠিনের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ-গুণাংক** (*Co-efficient of Linear Expansion of Solid*)

**সংজ্ঞা ঃ** কোন কঠিন পদার্থের একক দৈর্ঘ্য, এক ডিগ্রী উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে যতটুকু প্রসারিত হয়, তাকেই ঐ পদার্থের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ-গুণাংক বলে। একে ∝ দ্বারা সূচিত করা হয়।

ধরা যাক, একটি ধাতব দণ্ডের $t_1$°C উষ্ণতায় দৈর্ঘ্য $l_1$ cm (fig. 31)। একে উত্তপ্ত ক'রে উষ্ণতা $t_2$°C করা হ'ল। উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য দণ্ডটির দৈর্ঘ্যের প্রসারণ হবে। $t_2$°C উষ্ণতায়, ধরা যাক, এর দৈর্ঘ্য $l_2$ cm.

তাহলে, $(t_2 - t_1)$°C উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য $l_1$ cm দণ্ডের দৈর্ঘ্য-বৃদ্ধি $= (l_2 - l_1)$ cm

∴ " " " " 1 cm " " $= \dfrac{l_2 - l_1}{l_1}$ cm

∴ 1°C " " " 1 cm " " $= \dfrac{l_2 - l_1}{l_1(t_2 - t_1)}$ cm

এই $\dfrac{l_2 - l_1}{l_1(t_2 - t_1)}$-কে দৈর্ঘ্য-প্রসারণ-গুণাংক বলে এবং একে ∝ দ্বারা সূচিত করা হয়।

$$\therefore \quad \alpha = \frac{l_2 - l_1}{l_1(t_2 - t_1)} /°C \qquad (1)$$

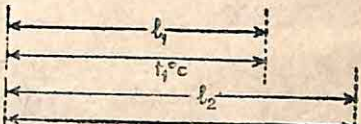



Fig. 31

অর্থাৎ, দৈর্ঘ্য-প্রসারণ-গুণাংক

$$\alpha = \frac{\text{দৈর্ঘ্য-বৃদ্ধি}}{\text{প্রাথমিক দৈর্ঘ্য} \times \text{তাপমাত্রা-বৃদ্ধি}}$$

● **ক্ষেত্রফল বা তল-প্রসারণ-গুণাংক** (*Co-efficient of Linear Expansion of Surface*)

**সংজ্ঞা ঃ** প্রতি ডিগ্রী উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য কোন পদার্থের একক-ক্ষেত্রফল-বিশিষ্ট তলের যে-বৃদ্ধি হয়, তাকে ঐ পদার্থের ক্ষেত্রফল-প্রসারণ-গুণাংক বলে।

একে $\beta$ দ্বারা সূচিত করা হয়। ধরা যাক, কোন তলের $t_1$°C উষ্ণতায় ক্ষেত্রফল $s_1$; উত্তপ্ত ক'রে এর উষ্ণতা বা তাপমাত্রা $t_2$°C করা হ'ল (fig. 32) এবং এর ফলে তলের ক্ষেত্রফল হ'ল $s_2$.

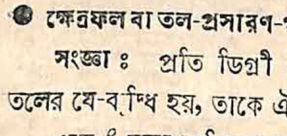



Fig. 32

∴ $(t_2 - t_1)$°C তাপমাত্রা-বৃদ্ধির জন্য $s_1$ তলের প্রসারণ $= s_2 - s_1$.

পূর্বের মতো গণনা ক'রে লেখা যায়—

1°C উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য একক তলের প্রসারণ $= \dfrac{s_2 - s_1}{s_1(t_2 - t_1)}$

$$\therefore \quad \beta = \frac{s_2 - s_1}{s_1(t_2 - t_1)} /°C \qquad (2)$$

● **ক্ষমতা ( *Power* )**

**কাজ করবার হারকে ক্ষমতা বলা হয়ে থাকে।**

ধরা যাক, $t$ sec সময়ে কোন বল W কাজ করে।

$\therefore$ 1 sec সময়ে বলটি $\frac{W}{t}$ কাজ করে।

যদি ক্ষমতাকে P বলা হয়, তাহলে, $P=\frac{W}{t}$.

অতএব, ক্ষমতা $=\frac{\text{কৃতকার্য}}{\text{সময়}}=\frac{\text{বল}\times\text{বলের দিকে সরণ}}{\text{সময়}}$

$=$ বল $\times$ বলের অভিমুখে বেগ।

● **অভিকর্ষের প্রভাবে পতনশীল কোন বস্তুর মোট শক্তির যোগফল ধ্রুবক– প্রমাণ**

ধরা যাক, $m$ ভরের কোন বস্তুকে অভিকর্ষের বিরুদ্ধে ভূমি থেকে খাড়া $h$ উচ্চতায় A বিন্দুতে তোলা হ'ল এবং উক্ত A বিন্দুতে বস্তুটিকে স্থির অবস্থায় রাখা হ'ল।

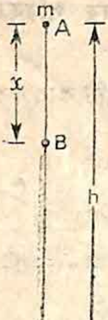


Fig. 22

A বিন্দুতে বস্তুটির স্থিতিশক্তি $=mgh$ এবং গতিশক্তি $=0$ ; তাহলে, A বিন্দুতে মোট শক্তি $=mgh+0=mgh$.

ধরা যাক, $t$ সময়ে অভিকর্ষের জন্য বস্তুটি $x$ দূরত্ব নিচে B-তে এলো। এই B অবস্থানে বস্তুর স্থিতিশক্তি ও গতিশক্তি—উভয়ই থাকবে। কারণ, বেগ তো আছেই এবং মাটি থেকে কিছু উপরে থাকার জন্য এর স্থিতিশক্তিও আছে।

B বিন্দুতে বস্তুর স্থিতিশক্তি $=mg(h-x)$

যদি ঐ সময়ে বস্তুর বেগ $v_1$ হয়, তাহলে, গতিশক্তি $=\frac{1}{2}mv_1$।

এখন $v^2=u^2+2fs$ প্রয়োগ করলে, $v_1{}^2=2gx$

$[\because \ u=0, f=g\ ;\ s=x$ ও $v=v_1]$

$\therefore$ B বিন্দুতে গতিশক্তি $=\frac{1}{2}mv_1{}^2=\frac{1}{2}m\times 2gx=mgx$.

তাহলে, B বিন্দুতে বস্তুর মোট শক্তি $=mg(h-g)+mgx=mgh$

$=$ A বিন্দুতে বস্তুর মোট শক্তি।

আবার, C বিন্দুতে বস্তুর কোন স্থিতিশক্তি নেই—সব শক্তিই গতীয়। এ-জায়গায় বেগ $v$ হলে, মোট শক্তি $=$ গতিশক্তি $=\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}m\times 2gh=mgh=$ A বিন্দুতে মোট শক্তি।

অতএব, আমরা সিদ্ধান্ত করতে পারি যে, অভিকর্ষের জন্য কোন বস্তুর পতনের সময় যে-কোন অবস্থানে এর মোট শক্তির পরিমাণ ধ্রুবক বা স্থির হবে।

ভূমি স্পর্শ করলে বস্তুটি মাটির সহিত সংঘাতে স্থির হয়, অর্থাৎ, উহার গতিশক্তি লোপ পায়, কিন্তু শক্তি বিনষ্ট হয় না। উক্ত শক্তির কিছু অংশ—তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হয় এবং কিছু অংশ শব্দশক্তিতে রূপান্তরিত হয়।

19. আর্কিমিডিস সূত্র বিবৃত এবং ব্যাখ্যা কর। পরীক্ষার সাহায্যে এই সূত্রের সত্যতা প্রমাণ কর। এই নীতির সাহায্যে অসম আকৃতির একটি বস্তুর আয়তন কিভাবে নির্ণয় করা যায়, তাহা বিবৃত কর। একটি মুকুট—সোনা এবং রূপোর সংকরে তৈরী, এই নীতির সাহায্যে সোনা এবং রূপোর পরিমাণ নির্ণয় কর। মুকুটের ওজন 200 গ্রাম। সংকরের আপেক্ষিক গুরুত্ব = 16, সোনার আপেক্ষিক গুরুত্ব = 19·3, রূপোর আপেক্ষিক গুরুত্ব = 10·5।

[State and explain Archemedes Principle. How is it experimentally verified ? How would you determine the volume of a body of irregular shape with the help of this principle.

A crown is made with alloy of gold and silver. Calculate with the help of this principle the amount of gold and silver in a crown of 200 gm, if the specific gravity of the alloy, gold and silver be 16, 19·3 and 10·5 respectively. ]

## আর্কিমিডিস-এর সূত্র (*Archimedes' Principle*)

কোন নিষ্ক্রিয়, অদ্রাব্য কঠিন বস্তুকে স্থির তরলে বা বায়বীয় পদার্থে আংশিক বা সম্পূর্ণ ডোবালে বস্তুর ভার হ্রাস পায় এবং বস্তুটি যে-ভারের তরল বা বায়বীয় পদার্থ স্থানচ্যুত করে, তার ভারের সমান হ্রাস হয়। এই ভারের হ্রাস হ'ল আপাত হ্রাস।

এটিই আর্কিমিডিস-এর সূত্র।

### আর্কিমিডিস-এর সূত্রের ব্যাখ্যা :

ধরা যাক, বায়ুশূন্য-স্থানে কোন বস্তুর ভর $= m$ এবং কোন তরলে নিমজ্জিত অবস্থায় বস্তুর ভর $= m_1$। তরলের আয়তন এবং ঘনত্ব যথাক্রমে $v$ এবং $\rho$। আর্কিমিডিসের সূত্র অনুসারে আমরা জানি যে, বস্তুর আপাত ওজন হ্রাস = অপসারিত তরলের ওজন। অর্থাৎ, $(m-m_1)\ g = v\rho g$, যেখানে $g$ = অভিকর্ষজ ত্বরণ।

$$\therefore \quad m - m^1 = v\rho \qquad (1)$$

যখন বস্তুটি সম্পূর্ণরূপে তরলে নিমজ্জিত থাকে, তখন $v = V$ = বস্তুর আয়তন, এখানে বস্তুর আপাত ওজন $m_1 g$ কম হবে এবং তরলে বস্তুর ওজন হ্রাস $(m-m_1)g$ বেশী হবে।

**আর্কিমিডিস সূত্রের পরীক্ষামূলক প্রমাণ :**

A ও B—দুটি বেলনাকৃতি চোঙ। A চোঙটির উপরদিকের মুখ খোলা ও ফাঁপা এবং B চোঙটি নিরেট। A চোঙটির মাপ এমন যে, B চোঙটি এর ভিতর ঠিক বসে যায়। অর্থাৎ, A-এর ভিতরের আয়তন, B-এর বাইরের আয়তনের সমান (fig. 23)। একটি তুলার বাঁ-পাশে এদের ঝুলিয়ে, অপর পাশ অনুভূমিক করা হ'ল। এরপর B চোঙটিকে জলে সম্পূর্ণ ডোবানো হ'ল। এর ফলে, তুলার বাঁ-দিক উপরে উঠে যাবে এবং ডানদিক নিচে নামবে ; অর্থাৎ, বাঁ-দিক হাল্কা হয়ে গেল। এই অবস্থায় যদি A চোঙটিতে ধীরে ধীরে জল ভরা হয়, তাহলে আগের ভারসাম্য ফিরে আসছে ব'লে মনে হবে এবং A চোঙটি যখন সম্পূর্ণ জলে ভর্তি হয়ে যাবে, তখন আগের অনুভূমিক অবস্থা ফিরে আসবে ; A-এর অভ্যন্তরীণ আয়তন B-এর বাইরের আয়তনের সমান ব'লে, প্রমাণিত হ'ল যে, জলে ডোবালে বস্তুর ওজন যে-পরিমাণ কমে, তা জলে-ডোবানো বস্তুর সম-আয়তন জলের ওজনের সমান।

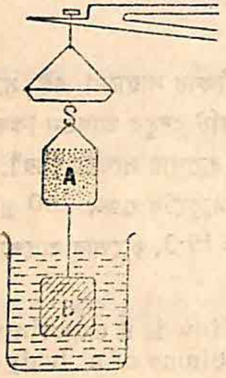


Fig. 23

● **অসম আকৃতির কোন বস্তুর আয়তন নির্ণয়**

ধরা যাক, কোন বস্তুকে তুলাদণ্ডে স্বাভাবিকভাবে বায়ুতে ভর-নির্ণয় ক'রে $m$ gm হ'ল এবং জলে সম্পূর্ণ ডুবিয়ে এর ভর হ'ল $= m'$ gm.

জলে ডোবালে, ভরের আপাত হ্রাস $= (m - m')$ gm.

আর্কিমিডিস-এর সূত্র অনুযায়ী, এটি স্থানচ্যুত জলের ভর।

$$\text{আবার, ঘনত্ব} = \frac{\text{ভর}}{\text{আয়তন}}$$

যদি জলের ঘনত্ব $\rho$ হয়, তাহলে ঐ বস্তুর আয়তন $= \dfrac{m - m'}{\rho}$

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে,

মুকুটের ওজন $= 200$ gm

এবং উহার আপেক্ষিক গুরুত্ব $= 16.$

অতএব, মুকুটের আয়তন $= \dfrac{200}{16} = 12{\cdot}5$ c. c.

মনে করা হ'ল, মুকুটে সোনার ওজন $= x$ gm এবং রুপোর ওজন $= (200 - x)$ gm.

আর্কিমিডিসের সূত্রানুসারে,

মুকুটের আয়তন = সোনার আয়তন + রুপোর আয়তন।

অতএব, $12\cdot5=\frac{x}{19\cdot3}+\frac{200-x}{10\cdot5}$

বা, $12\cdot5\times19\cdot3\times10\cdot5=10\cdot5\,x+19\cdot3\,[200-x]$

বা, $2533\cdot125=10\cdot5\,x+3860-19\cdot3x$

বা, $19\cdot3x-10\cdot5x=3860-2533\cdot125$

বা, $8\cdot8x=1326\cdot875$

বা, $x=\frac{1326\cdot875}{8\cdot8}$

$=150\cdot78$

$\therefore$ সোনার পরিমাণ $=150\cdot78$ gm

এবং রূপোর পরিমাণ $=200-150\cdot78$

$=49\cdot22$ gm.

**20.** একটি পাত্রে রাখা 1·06 আপেক্ষিক গুরুত্বপূর্ণ একটি তরলে 0·90 আপেক্ষিক-গুরুত্ব-সম্পন্ন 100 gm ওজনের একখণ্ড বরফ ভাসছে। যখন সমস্ত বরফ গলে যাবে, তখন তরল তল-এর কোনরূপ পরিবর্তন হবে কি? কারণ-সহ ব্যাখ্যা কর।

[A piece of ice of 100 gm of specific gravity 0·90 is floating on a liquid of specific gravity 1·06 kept in a vessel. What will be the change of the level of the liquid when the entire piece of ice melts? Give reason of your answer.]

যখন বরফখণ্ডটি তরলে ভাসে, তখন উহা 100 gm তরল অপসারিত করবে। এখন; 100 gm তরলের আয়তন

$$v_1=\frac{100}{1\cdot06}=94\cdot34 \text{ c. c.}$$

100 gm বরফ সম্পূর্ণ গলে গেলে $v_2$ আয়তনের জলে পরিণত হয়, তখন

$$v_2=\frac{\text{বরফের ভর}}{\text{জলের ঘনত্ব}}=\frac{100}{1}=100 \text{ c. c.}$$

সুতরাং $v_2 > v_1$

অর্থাৎ, তরল-তল উপরে উঠে যাবে।

**21.** একটি পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব কাকে বলে? দেখাও যে, সি. জি. এস. পদ্ধতিতে একটি পদার্থের ঘনত্ব এবং আপেক্ষিক গুরুত্ব সমান।

[Define specific gravity of a substance. Show that specific gravity and density of a substance in C. G. S. system are numerically equal.]

● **আপেক্ষিক গুরুত্ব (*Specific Gravity*)**

সংজ্ঞা : সমান আয়তনের একটি প্রামাণিক পদার্থের তুলনায় কোন পদার্থ যতগুণ ভারী বা হালকা, তাকে ঐ পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব বলে।

কঠিন ও তরল পদার্থের ক্ষেত্রে 4° সেণ্টিগ্রেড উষ্ণতায় বিশুদ্ধ জলকে প্রামাণিক পদার্থ ধরা হয়। গ্যাসীয় পদার্থের ক্ষেত্রে স্বাভাবিক চাপ ও উষ্ণতায় (N. T. P.) হাইড্রোজেন গ্যাসকে প্রামাণিক পদার্থ ধরা হয়।

তাহলে, কঠিন ও তরলের ক্ষেত্রে,

$$\text{আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{\text{বস্তুর ভার}}{4^\circ C \text{ উষ্ণতায় সম-আয়তন জলের ভার}} \text{।}$$

ভর এবং ভার সমানুপাতিক ব'লে,

$$\text{আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{\text{বস্তুর ভর}}{4^\circ C \text{ উষ্ণতায় সম-আয়তন জলের ভর}} \text{।}$$

ধরা যাক, বস্তুর আয়তন $= v$ c. c. ; তাহলে,

$$\text{আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{\text{পদার্থের } v \text{ c.c. আয়তনের ভর}}{4^\circ C \text{ উষ্ণতায় } v \text{ c.c. আয়তন জলের ভর}}$$

$$= \frac{\text{পদার্থের একক আয়তনের ভর}}{4^\circ C \text{ উষ্ণতায় একক আয়তন জলের ভর}}$$

$$= \frac{\text{পদার্থের ঘনত্ব}}{\text{জলের ঘনত্ব ( } 4^\circ C \text{ উষ্ণতায় )}}$$

যদি আপেক্ষিক গুরুত্বকে $s$, পদার্থের ঘনত্বকে $\rho$ ও জলের ঘনত্বকে (4°C উষ্ণতায়) $\rho'$ বলা হয়, তাহলে,

$$s = \frac{\rho}{\rho'}.$$

অতএব, কোন পদার্থের আপেক্ষিক গুরুত্ব, সেই পদার্থের ঘনত্বের সঙ্গে জলের ঘনত্বের অনুপাতের সমান। সেজন্য আপেক্ষিক গুরুত্বকে কখনো কখনো **আপেক্ষিক বা তুলনামূলক ঘনত্ব** (relative density) বলা হয়।

● **সি. জি. এস. এককে ঘনত্ব এবং আপেক্ষিক গুরুত্বের সম্পর্ক**

ঘনত্বের সংজ্ঞা হ'ল—একক আয়তনের পদার্থের ভর। সি. জি. এস. এককে 1 c.c. জলের (4°C উষ্ণতায়) ভর হচ্ছে 1 gm.

এখন, $s = \frac{\rho}{\rho'}$, $\rho' = 1$ ব'লে $s = \rho$.

অর্থাৎ, **সি. জি. এস. এককে ঘনত্ব এবং আপেক্ষিক গুরুত্ব—উভয়ের মান সমান। কিন্তু ঘনত্বের একক আছে, আপেক্ষিক গুরুত্বের একক নেই।**

**22.** চাপ-সঞ্চালন সম্পর্কিত প্যাসকেল সূত্র বিবৃত এবং ব্যাখ্যা কর। এই সূত্রের সাহায্যে বল-বৃদ্ধিকরণ নীতি ব্যাখ্যা কর। ইহা কি শক্তির সংরক্ষণ সূত্রের বিরুদ্ধে যায়? হাইড্রলিক প্রেসের নীতি এবং কার্যপ্রণালী বর্ণনা কর।

[ State and explain Pascal's law of transmission of pressure. How can force be multiplied with the help of this law? Does it go

against the principle of conservation of energy. Describe the action and principle of Hydraulic Press. ]

● **প্যাস্‌কেল-এর সূত্র**

কোন স্থির আবদ্ধ তরলের যে-কোন অংশে চাপ প্রয়োগ করলে, সেই চাপ, মান অপরিবর্তিত রেখে তরল পদার্থের সর্বত্র সমানভাবে সঞ্চালিত হয় এবং তরল—সংলগ্ন পাত্রের উপর লম্বভাবে ক্রিয়া করে।

নিম্নলিখিত পরীক্ষা দ্বারা প্যাস্‌কেল সূত্রের ব্যাখ্যা দেওয়া যায়ঃ

● **প্যাস্‌কেল-এর সূত্রের পরীক্ষা**

গোলকাকার একটি জলপূর্ণ আবদ্ধ-পাত্র নেওয়া হ'ল। এই পাত্রে A, B, C ও D—এই চারটি ছিদ্র আছে। ছিদ্রগুলির প্রস্থচ্ছেদ সকল ক্ষেত্রে সমান নয় (fig. 24)। এই ছিদ্রগুলি জলরোধক (water-tight) পিস্টন দিয়ে বন্ধ করা থাকে। মনে করা যাক, A পিস্টনের প্রস্থচ্ছেদ 1 একক ( 1 unit ) এবং B, C ও D—এই তিনটি পিস্টনের প্রস্থচ্ছেদ যথাক্রমে 2, 3, 4 একক ক'রে। এখন, A-পিস্টনে যদি চাপ দেওয়া যায়, তাহলে দেখা যাবে B, C ও D পিস্টনগুলি স্থির অবস্থান থেকে বাইরের দিকে সরে এলো। A-পিস্টনে চাপ দেওয়ার ফলে, জলের মধ্যে যে-চাপের সৃষ্টি হয়, সেই চাপ জলের মধ্যে দিয়ে সমভাবে সর্বদিকে সঞ্চালিত হয়ে থাকে এবং এজন্য পিস্টনগুলি স্থির অবস্থান থেকে বাইরের দিকে সরে যায়। ধরা যাক, A-পিস্টনে F-বল প্রয়োগ করা হয়েছে। এই প্রযুক্ত বলের জন্য B, C ও D পিস্টনগুলি বাইরের দিকে সরে এলো। B, C ও D পিস্টনগুলিকে স্থির রাখতে গেলে, পিস্টনগুলির বিপরীত দিক থেকে এদের উপরে বল প্রয়োগ করতে হবে। পরীক্ষা ক'রে দেখা যাবে, এই বলগুলির মান যথাক্রমে 2F, 3F ও 4F হবে। এ-ছাড়া অন্য মানের কোন বল প্রয়োগ ক'রে B, C এবং D-কে স্থির রাখা সম্ভব নয়। এর দ্বারা প্রমাণিত হয় যে, পিস্টনগুলির প্রতি একক ক্ষেত্রে যে-বল সঞ্চালিত হয়েছে, তা A-পিস্টনের উপর প্রযুক্ত বলের সমান (A-র ক্ষেত্রফল 1 ধরা হয়েছে)। অর্থাৎ, জল অপরিবর্তিত হারে সর্বদিকে সমান চাপ সঞ্চালিত ক'রলো। আবার, পিস্টনগুলির সরে আসবার অভিমুখ লক্ষ্য করলে দেখা যাবে যে, সঞ্চালিত চাপ পিস্টনগুলির উপর লম্বভাবে (normally) ক্রিয়া করছে। তাহলে, আবদ্ধ তরলের মধ্যে চাপ প্রয়োগ করলে এটি মানে অপরিবর্তিত থেকে তরলের মধ্যে সর্বদিকে সমানভাবে সঞ্চালিত হয় এবং আধারের উপর লম্বভাবে ক্রিয়া করে। অর্থাৎ, প্যাস্‌কেল-এর সূত্র প্রমাণিত হ'ল।

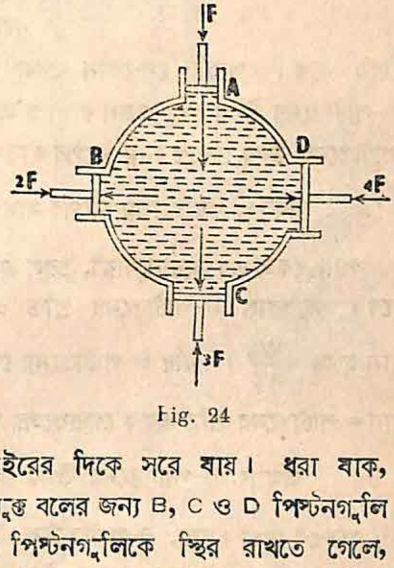


Fig. 24

অর্থাৎ, ক্ষেত্রফল-প্রসারণ-গুণাঙ্ক

$$\beta = \frac{\text{ক্ষেত্রফল-বৃদ্ধি}}{\text{প্রাথমিক ক্ষেত্রফল} \times \text{তাপমাত্রা-বৃদ্ধি}}$$

**আয়তন-প্রসারণ-গুণাঙ্ক** ( *Co-efficient of Linear Expansion of Volume* )

**সংজ্ঞা ঃ** প্রতি ডিগ্রী উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে কোন বস্তুর একক আয়তনের যে-প্রসারণ ঘটে, তাকেই ঐ বস্তুর আয়তন-প্রসারণ বলে। একে $\gamma$ দ্বারা সূচিত করা হয়।

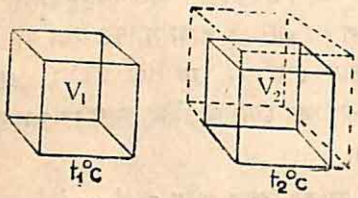



Fig. 33

ধরা যাক, কোন বস্তুর $t_1$°C উষ্ণতায় আয়তন $v_1$ c.c. ও $t_2$°C উষ্ণতায় এর আয়তন বৃদ্ধি পেয়ে $v_2$ c.c. (fig. 33) হ'ল।

$(t_2 - t_1)$°C উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য $v_1$ c.c. বস্তুর আয়তন-প্রসারণ $= v_2 - v_1$

$(t_2 - t_1)$°C " " " 1 c.c. " " " $= \dfrac{v_2 - v_1}{v_1}$

1°C " " " 1 c.c. " " " $= \dfrac{v_2 - v_1}{v_1(t_2 - t_1)}$

$$\therefore \quad \gamma = \frac{v_2 - v_1}{v_1(t_2 - t_1)} \ /°\text{C} \qquad (3)$$

অর্থাৎ, আয়তন-প্রসারণ-গুণাঙ্ক

$$\gamma = \frac{\text{আয়তন-বৃদ্ধি}}{\text{প্রাথমিক আয়তন} \times \text{তাপমাত্রা-বৃদ্ধি}}$$

**$\alpha$, $\beta$ ও $\gamma$-এর পারস্পারিক সম্বন্ধ** (*Relation between $\alpha$, $\beta$ and $\gamma$*)

**$\alpha$ ও $\beta$-এর মধ্যে সম্পর্ক ঃ**

ABCD একটি বর্গক্ষেত্র।

ধরা যাক, এর প্রত্যেক বাহুর দৈর্ঘ্য $= l$ cm

অর্থাৎ $s_1 = l^2$ sq. cm.

এখন, ক্ষেত্রটিকে উত্তপ্ত ক'রে 1°C উষ্ণতা বাড়ানো হ'ল। ফলে, এর ক্ষেত্রফল A'B'C'D' হয়েছে (fig. 34)।

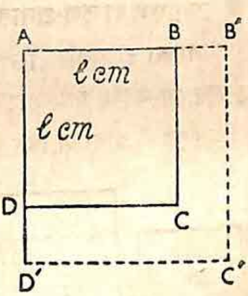



Fig. 34

তাহলে, প্রত্যেক বাহুর দৈর্ঘ্য হবে $(1+\alpha)l$

এবং বর্গক্ষেত্রের ক্ষেত্রফল হবে $(1+\beta)s_1$

বা, $(1+\alpha)^2 \ l^2 = (1+\beta)l^2$ $\quad \therefore \ (1+\alpha)^2 = 1+\beta$

বা, $1+2\alpha+\alpha^2 = 1+\beta$ $\quad$ বা, $\beta = 2\alpha$ (4)

[ $\alpha$ অত্যন্ত ক্ষুদ্র ব'লে $\alpha^2$ উপেক্ষণীয় ]

## α ও γ-এর মধ্যে সম্পর্ক :

ABCDEFGH একটি ঘনক (fig. 35)। এর প্রতি বাহুর দৈর্ঘ্য $l$ cm, অর্থাৎ, এর আয়তন $l^3$. এখন, উত্তপ্ত ক'রে এর উষ্ণতা 1°C বাড়ানো হ'ল। তাহলে, এর প্রত্যেক বাহুর দৈর্ঘ্য হবে $(1+\alpha)l$ এবং ঘনকের আয়তন $=(1+\gamma)l^3$

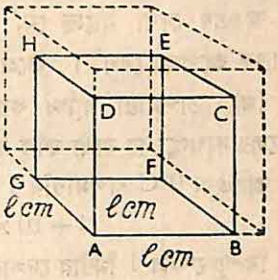


Fig. 35

তাহলে, $(1+\alpha)^3 l^3=(1+\gamma)l^3$

$\therefore \quad (1+\alpha)^3=1+\gamma$

বা, $\quad 1+3\alpha+3\alpha^2+\alpha^3=1+\gamma$

বা, $\quad 3\alpha=\gamma \qquad (5)$

[ α অত্যন্ত ক্ষুদ্র ব'লে $\alpha^2$ ও $\alpha^3$ উপেক্ষণীয়। ]

(4) ও (5) নং সমীকরণ থেকে $\beta=2\alpha$ ও $\gamma=3\alpha$ পাওয়া গেল।

অর্থাৎ, $\alpha : \beta : \gamma=1 : 2 : 3$.

## α, β, γ-র পারস্পরিক সম্বন্ধ : ( বিকল্প পদ্ধতি )

$l$ দৈর্ঘ্যের একটি ঘনক নেওয়া হ'ল। ঐ ঘনকের যে-কোন তলের ক্ষেত্রফল $s=l^2$ এবং আয়তন $V=l^3$.

তাপমাত্রার সাপেক্ষে অন্তরকলন করলে পাই—

$$\frac{ds}{d\theta}=2l\frac{dl}{d\theta} \text{ এবং } \frac{dV}{d\theta}=3l^2\frac{dl}{d\theta}.$$

এখন, ক্ষেত্রফল-প্রসারণ-গুণাঙ্কের সংজ্ঞা থেকে পাই—

$$\beta=\frac{\text{ক্ষেত্রফল-বৃদ্ধি}}{\text{প্রাথমিক ক্ষেত্রফল} \times \text{তাপমাত্রা-বৃদ্ধি}}$$

$$=\frac{1}{s}\cdot\frac{ds}{d\theta}=\frac{1}{l^2}\times 2l\times\frac{dl}{d\theta}=2\times\frac{dl}{l\,d\theta}$$

$$=2\times\frac{\text{দৈর্ঘ্য-বৃদ্ধি}}{\text{প্রাথমিক দৈর্ঘ্য} \times \text{তাপমাত্রা-বৃদ্ধি}}=2\times\alpha.$$

আবার, আয়তন-প্রসারণ-গুণাঙ্কের সংজ্ঞানুসারে আমরা পাই—

$$\gamma=\frac{\text{আয়তন-বৃদ্ধি}}{\text{প্রাথমিক আয়তন} \times \text{তাপমাত্রা-বৃদ্ধি}}$$

$$=\frac{dv}{V\,d\theta}=\frac{1}{l^3}\cdot 3l^2\frac{dl}{d\theta}=3\times\frac{dl}{l\,d\theta}$$

$$=3\times\frac{\text{দৈর্ঘ্য-বৃদ্ধি}}{\text{প্রাথমিক দৈর্ঘ্য} \times \text{তাপমাত্রা-বৃদ্ধি}}=3\times\alpha.$$

অতএব $\quad \alpha=\dfrac{\beta}{2}=\dfrac{\gamma}{3}.$

**বল-বৃদ্ধিকরণ নীতি** (*Principle of Multiplication of Force* )

প্যাস্‌কেল-এর সূত্রের পরীক্ষাটি বস্তুতপক্ষে বল-বৃদ্ধিকরণ নীতির একটি দৃষ্টান্ত-বিশেষ। পরীক্ষাটিতে দেখানো হয়েছে, বিভিন্ন পিস্টনের উপর প্রযুক্ত চাপ সমান হলেও এদের মধ্যে যে-বল উৎপন্ন হচ্ছে, তা সমান নয়। দেখা গিয়েছে, উৎপন্ন বল—পিস্টনের ক্ষেত্রফলের অনুপাতিক। অর্থাৎ, পিস্টনের ক্ষেত্রফল যত বাড়বে, এতে উৎপন্ন বলও তত বাড়বে। একে 'বল-বৃদ্ধিকরণ' নীতি বলে।

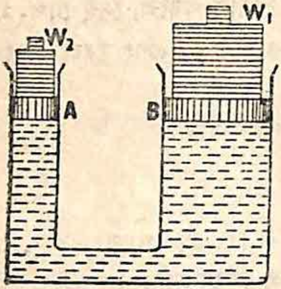



Fig. 25

পাশের চিত্রে (fig. 25) একটি U-আকৃতির পাত্রের ছবি দেখানো হয়েছে। এই পাত্রটির দু'পাশে দুটি নল আছে—একটি নল সরু, অপর নলটি মোটা। নল-দুটি অপর আর-একটি নল দিয়ে যুক্ত। পাত্রটি যে-কোন তরল দিয়ে পূর্ণ করা হ'ল। এবার সরু নলের A-পাটাতনের উপর $W_2$ ওজন রাখা হ'ল। A-পাটাতনের ক্ষেত্রফল যদি $A_2$ হয়, তাহলে পাটাতনের উপর প্রযুক্ত নিম্ন চাপের মান = ওজন ÷ পাটাতনের ক্ষেত্রফল।

অর্থাৎ, প্রযুক্ত নিম্ন চাপের মান $=\dfrac{W_2}{A_2}$

প্যাস্‌কেল-এর সূত্রানুযায়ী, তরল এই চাপকে পাত্রের সর্বদিকে সমহারে সঞ্চালিত হবে। সুতরাং, B-পাটাতনের প্রতি একক ক্ষেত্রফলের উপর যে-চাপ পড়ছে, তার মান হচ্ছে $\dfrac{W_2}{A_2}$। যদি B-পাটাতনের ক্ষেত্রফল $A_1$ হয়, তবে এর উপর প্রযুক্ত ঘাতের মান = পাটাতনের প্রতি একক ক্ষেত্রফলের উপর প্রযুক্ত চাপ × পাটাতনের ক্ষেত্রফল।

অর্থাৎ, B-পাটাতনের উপর প্রযুক্ত ঘাত $=\dfrac{W_2}{A_2}\times A_1$.

অতএব দেখা যাচ্ছে, B-পাটাতনের উপর যে-ঘাত পড়ছে, সেটি ঊর্ধ্বগামী। এর ফলে B-পাটাতন উপরের দিকে উঠতে থাকবে। যদি B-পাটাতনটিকে স্থির রাখবার চেষ্টা করা হয়, তাহলে এর উপর এমন একটি ওজন রাখতে হবে, যার মান B-পাটাতনের উপর ক্রিয়ারত ঊর্ধ্বমুখী ঘাতের সমান। যদি B-পাটাতনের উপর $W_1$ ওজন চাপানো হয়, তাহলে,

$$W_1=\frac{W_2}{A_2}\times A_1 \text{ হতে হবে।}$$

যদিও B-পাটাতনের ক্ষেত্রফল $A_1$, A-পাটাতনের ক্ষেত্রফল $A_2$-এর চেয়ে 50 গুণ বেশী ; তাহলে, A-পাটাতনের উপর 1 lb. ওজন রাখলে B-পাটাতনকে স্থির রাখতে হলে এর উপর 50 lb. ওজন রাখতে হবে। সুতরাং দেখা যাচ্ছে, বল 50 গুণ বেড়ে গেল। এইভাবে কোন আবদ্ধ স্থানে অল্প বল প্রয়োগ ক'রে বহুগুণ বল উৎপন্ন করা যায়। আগেই বলা হয়েছে, একে 'বল-বৃদ্ধিকরণ' নীতি বলে।

● **হাইড্রলিক প্রেস বা ব্র্যামা-র প্রেস** (*Hydraulic Press or Bramah's Press*)

পূর্বোক্ত নীতির ব্যবহারিক প্রয়োগ হচ্ছে হাইড্রলিক প্রেস। ব্র্যামা নামে একজন ইঞ্জিনীয়ার এই যন্ত্রের কিছু উন্নতি-বিধান করেন ব'লে একে ব্র্যামা-র প্রেসও বলে। এই যন্ত্র দিয়ে প্রচণ্ড ঘাতের সৃষ্টি করা যায়। কাগজ, তুলোর গাঁট প্রভৃতিকে চাপ দিয়ে আয়তনে ছোট করা, চাপ দিয়ে চামড়া শক্ত করা, বীজ থেকে তেল নিষ্কাশন প্রভৃতি কাজ এই যন্ত্র দিয়ে করা হয়।

**বিবরণ ঃ** চিত্রে (fig. 26) একটি হাইড্রলিক প্রেসের নক্সা দেখানো হ'ল। এই যন্ত্রে AB ও ED দুটি সিলিণ্ডার, একটি নল দিয়ে যুক্ত। $P_1$ ও $P_2$ দুটি পিস্টন। $P_1$ পিস্টনটি নিরেট লোহা দিয়ে তৈরী। T হাতলের সাহায্যে $P_1$ পিস্টনটিকে ED সিলিণ্ডারে যাতায়াত করানো যেতে পারে। $P_2$ পিস্টনের উপর একটি পাটাতন (GK) আছে। যে-বস্তুটিকে আয়তনে ছোট করতে হবে, সেটি GK-এর উপর রাখা হয়। R একটি শক্ত লোহার পাত—চারটি থামের সাহায্যে দৃঢ়ভাবে আটকানো। $V_1$ ও $V_2$ —দুটি ভাল্‌ভ। এদের মধ্যে দিয়ে জল যথাক্রমে উপরের ও পাশের দিকে যেতে পারে। বিপরীত দিকে জল আসতে চেষ্টা করলেই ভাল্‌ভ-দুটি বন্ধ হয়ে যায়। একেবারে নিচে $R_1$ একটি জলাধার। এর থেকে জল ED চোঙে প্রবেশ করতে পারে।

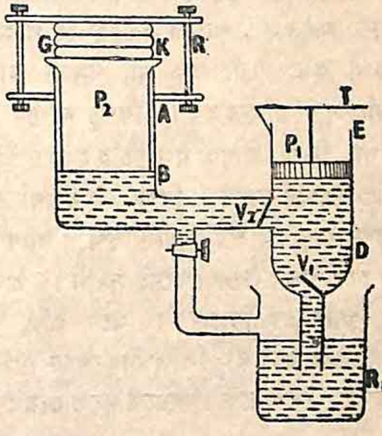



Fig. 26

**কার্যপ্রণালী ঃ** T হাতল দিয়ে $P_1$ পিস্টনটিকে উপরের দিকে তুললে, নিচের $R_1$ জলাধারের জল, $V_1$ ভাল্‌ভের উপর চাপ প্রয়োগ করে। ফলে, এটির উপরের দিক খুলে যায় ও জলাধারের জল নল বেয়ে ED চোঙে প্রবেশ করে এবং একে জল-ভর্তি করে। এখন, T হাতলের সাহায্যে $P_1$ পিস্টনটিকে নিচের দিকে ঠেললে, $V_1$ ভাল্‌ভটি চোঙের মুখে আটকে যায় এবং একে বন্ধ ক'রে দেয়। $V_2$ ভাল্‌ভ জলের চাপে খুলে যায় এবং জল AB চোঙে প্রবেশ ক'রে $P_2$ পিস্টনের উপর চাপ দেয়। প্যাস্‌কেল-এর সূত্রানুযায়ী, এই প্রযুক্ত-চাপ অপরিবর্তিত হারে $P_2$ পিস্টনে সঞ্চালিত হয় এবং $P_2$-এর প্রস্থচ্ছেদ $P_1$ পিস্টনের প্রস্থচ্ছেদের চেয়ে যতগুণ বেশী, বলও ততগুণ বৃদ্ধি পায়। ফলে, GK পাটাতনের উপরে রাখা কোন বস্তু প্রচণ্ড চাপ অনুভব করে। পাটাতনের উপরে রাখা নরম বস্তু চাপ পেয়ে আয়তনে ছোট হয়ে যায়। একবার পাটাতন GK-এর উপরে রাখা নরম পদার্থ চাপ পেলে, উপযুক্ত ব্যবস্থার সাহায্যে AB চোঙের জল অন্য নল দিয়ে বাইরে চলে যায়।

আমরা জানি যে,

(ক) তামার দৈর্ঘ্য-প্রসারণ-গুণাঙ্ক $= 19 \times 10^{-6}$ per °C.

ইস্পাতের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ-গুণাঙ্ক $= 12 \times 10^{-6}$ per °C.

অতএব দেখা যাচ্ছে যে, তামার দৈর্ঘ্য-প্রসারণ-গুণাঙ্ক, ইস্পাতের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ-গুণাঙ্ক অপেক্ষা বেশী। ফলে, যুগ্মপাতের তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে সেটি বেঁকে যাবে।

(খ) তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে ইস্পাত স্কেলের দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি পায়। সুতরাং, স্কেলের দাগগুলির মধ্যে ফাঁক বৃদ্ধি পাবে।

অতএব, 0°C তাপমাত্রায় 1 মিটার হলে 10°C তাপমাত্রায় তাহা

$$1 + 10 \times 11 \times 10^{-6} = 1{\cdot}00011 \text{ মিটার হবে।}$$

কিন্তু স্কেল 1 মিটার দেখাবে।

অতএব, 10°C তাপমাত্রায় তামার দণ্ডের প্রকৃত দৈর্ঘ্য

$$= 1{\cdot}00007 \times 1{\cdot}00011 \text{ মিটার}$$

উক্ত দণ্ড ঠাণ্ডা হয়ে 0°C তাপমাত্রায় এলে তামার দণ্ডের প্রকৃত দৈর্ঘ্য

$$= 1{\cdot}00007 \times 1{\cdot}00011 \times (1 - 10 \times 19 \times 10^{-6})$$
$$= 1{\cdot}00018 \times (1 - {\cdot}00019)$$
$$= 1{\cdot}00018 \times {\cdot}99981$$
$$= {\cdot}9999899 \text{ মিটার।}$$

**37.** সংশোধিত দোলকের কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর।

[ Discuss the principle of compensated pendulum. ]

● **সংশোধিত দোলক** ( *Compensated Pendulum* )

উষ্ণতার পরিবর্তন হলে ঘড়ির দোলকের দৈর্ঘ্যের হ্রাস-বৃদ্ধি হয় ব'লে, দোলন-কাল বদলে যায়। এই ত্রুটি দূর করবার জন্য সংশোধিত দোলকের ব্যবহার করা হয়ে থাকে।

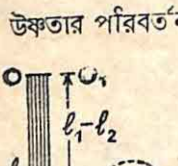



Fig. 36

OA ও BC—দুটি ভিন্ন ধাতু-নির্মিত সমান্তরাল দণ্ড ( fig. 36 )। এদের নিম্নভাগ AB-দণ্ড দিয়ে যুক্ত এবং আনুভূমিক। O-প্রান্ত থেকে এদের ঝোলানো হ'ল। এই দুই দণ্ডের দৈর্ঘ্য এমনভাবে স্থির করা হয়, যাতে যে-কোন উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য একটির নিম্ন-প্রসারণ, অপরটির ঊর্ধ্ব-প্রসারণের সমান। তাহলে, উষ্ণতার তারতম্যের জন্য উল্লম্ব-দৈর্ঘ্য OC $(l_1 - l_2)$ কখনই বদলাবে না।

ধরা যাক, OA $= l_1$, BC $= l_2$ এবং OA-দণ্ডের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ-গুণাঙ্ক $\alpha_1$ ও BC-এর $\alpha_2$, $t$°C তাপমাত্রা-বৃদ্ধির জন্য OA-এর নিম্ন-প্রসারণ $= l_1 \alpha_1 t$ এবং BC-এর ঊর্ধ্ব-প্রসারণ $= l_2 \alpha_2 t$. যদি $l_1 \alpha_1 t = l_2 \alpha_2 t$ হয়,

$$\text{অর্থাৎ,} \quad \frac{l_1}{l_2} = \frac{\alpha_2}{\alpha_1}$$

তাহলে, উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য OC-দৈর্ঘ্যের কোনরকম তারতম্য ঘটবে না।

**হ্যারিসন-এর গ্রিড-আয়রন দোলক (Harrison's grid iron pendulum) :**

সংশোধিত দোলক সর্বপ্রথম হ্যারিসন (Harrison) প্রস্তুত করেন। নিচের চিত্রে (fig. 37) এইরকম একটি দোলক দেখানো হয়েছে। এতে পাঁচটি ইস্পাতের দণ্ড ও চারটি পিতলের দণ্ড আছে। দণ্ডগুলি আড়াআড়িভাবে ধাতব টুকরো দিয়ে সংযুক্ত। দণ্ডগুলি এরকম ভাবে থাকে, যাতে ইস্পাতের দণ্ডগুলি প্রসারণের ফলে নিচের দিকে নামে এবং পিতলের দণ্ডগুলি উপরের দিকে ওঠে। চিত্রে ইস্পাতের মোট পাঁচটি দণ্ড থাকলেও, সমান মাপের দণ্ডগুলির প্রসারণ কার্যতঃ একটির প্রসারণ। তাহলে পাঁচটি ইস্পাতের দণ্ডের যে-প্রসারণ, সেটি তিনটি দণ্ডের প্রসারণের সমান। সেইরকম পিতলের চারটি দণ্ডের কার্যকর প্রসারণ—দুটির সমান। ধরা যাক, ইস্পাতের দণ্ডগুলির মোট দৈর্ঘ্য $3l$ (এর অর্থ এই নয় যে, প্রত্যেক দণ্ডের দৈর্ঘ্য $l$) ও পিতলের দণ্ড-দুটির মোট দৈর্ঘ্য $2l$। ইস্পাতের ও পিতলের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ-গুণাঙ্ক যথাক্রমে 0·000012 ও 0·000018। সুতরাং, 1°C উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য ইস্পাতের দণ্ডগুলির প্রসারণ $= 0{\cdot}000012 \times 3l$ ও পিতলের দণ্ডগুলির প্রসারণ $= 0{\cdot}000018 \times 2l$। উভয়ক্ষেত্রেই 1°C উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য মোট প্রসারণ সমান ($\cdot 000036l$) হবে। অর্থাৎ, দোলকটি উষ্ণতার তারতম্যের জন্য দ্রুত বা ধীরে চলবে না।

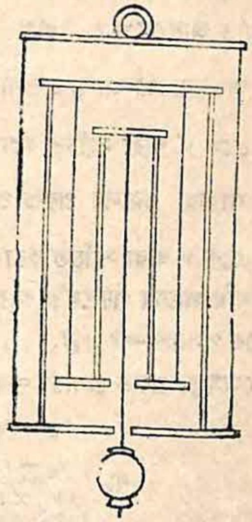


Fig. 37

33. তরলের প্রকৃত এবং আপাত প্রসারণ-গুণাঙ্কের সহিত পাত্রের আয়তন-প্রসারণ-গুণাঙ্কের সম্পর্ক প্রতিষ্ঠা কর।

তরলের প্রকৃত-প্রসারণ-গুণাঙ্ক নির্ণয় করিবার একটি পদ্ধতি বর্ণনা কর।

[ Obtain the relation between the co-efficient of real, apparent expansion of liquid and the co-efficient of expansion of the containing vessel.

Describe a method for the determination of the co-efficient of real expansion of liquid. ]

● **প্রকৃত ও আপাত প্রসারণের গুণাঙ্ক** (*Co-efficient of Real and Apparent Expansion*)

**সংজ্ঞা : আপাত-প্রসারণ-গুণাঙ্ক :** কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ তরল পদার্থের 0°C উষ্ণতায় যে-আয়তন, 1°C উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য এর প্রতি একক আয়তনের যে-আপাত-প্রসারণ, তাকেই ঐ তরলের আপাত-প্রসারণ-গুণাঙ্ক বলে।

**হাইড্রলিক প্রেসের যান্ত্রিক সুবিধা** (Mechanical Advantage) :

যদি $P_1$ ও $P_2$-র প্রস্থচ্ছেদ যথাক্রমে $\alpha$ ও $\beta$ হয় এবং সঞ্চালিত চাপ যদি $\theta$ হয়, তাহলে, যান্ত্রিক সুবিধা $= \frac{\text{বর্ধিত বল}}{\text{প্রযুক্ত বল}}$ । বর্ধিত বল যদি $F_2$ এবং প্রযুক্ত বল যদি $F_1$ হয়, তাহলে প্রদত্ত শর্তানুযায়ী, যান্ত্রিক সুবিধা $= \frac{F_2}{F_1} = \frac{\theta\beta}{\theta\alpha} = \frac{\beta}{\alpha}$ ; পিস্টনের হাতল T-এর যান্ত্রিক সুবিধা এই হিসাবে ধরা হয় নি।

**হাইড্রলিক প্রেসে শক্তিসূত্র রক্ষিত হয় কি ?**

হাইড্রলিক প্রেসের কার্যপদ্ধতি লক্ষ্য করলে দেখা যাবে যে, যন্ত্রটি চালালে, যত কাজ করতে হয়, পাত্রের সর্বত্রই এই পরিমাণ কাজ পাওয়া যায় ; যন্ত্রের নিজস্ব ক্রিয়ায় কোন কাজ তৈরি হয় না, অথবা কাজের কোন বিনাশ ঘটে না। অর্থাৎ, যন্ত্রটিতে 'শক্তি-সূত্র' রক্ষিত হয়। কিন্তু যন্ত্রের একদিকে সামান্য বল প্রয়োগ করলে, যন্ত্রের অপর দিকে অধিক বল তৈরি হওয়াতে, মনে হয় যেন, যন্ত্রটি স্বয়ংক্রিয় পদ্ধতিতে বেশী কাজ উৎপন্ন করছে। কিন্তু এই ধারণা ভুল। প্রযুক্ত বলের প্রয়োগ-বিন্দুর **সরণ** বেশী ; কিন্তু উদ্ভুত বলের প্রয়োগ-বিন্দুর **সরণ** অল্প। এজন্য বল এবং সরণ—উভয়ের গুণফল যা হবে, সেটা উভয় ক্ষেত্রেই সমান। অর্থাৎ, এই যন্ত্রটিতে 'শক্তি-সূত্র' রক্ষিত।

**গাণিতিক বিশ্লেষণ :** মনে করি, $P_1$ পিস্টনকে $x$ দূরত্বে নামানোর ফলে $v$ আয়তনের জল ED সিলিণ্ডার থেকে AB সিলিণ্ডারে প্রবেশ করে। ফলে, $v$ আয়তনের জল $P_2$ পিস্টনকে $y$ দূরত্বে তুলে দেয়। সুতরাং,

$$v = \alpha x = \beta y$$

বা, $\frac{x}{y} = \frac{\beta}{\alpha}$. বা, $\frac{x}{y} = \frac{F_2}{F_1}$ $\left[\because \frac{F_2}{F_1} = \frac{\beta}{\alpha}\right]$

বা, $F_1.x = F_2.y$

বা, প্রযুক্ত বল × প্রয়োগ-বিন্দুর সরণ = প্রাপ্ত বল × প্রয়োগ-বিন্দুর সরণ

বা, $P_1$ দ্বারা কৃত কাজ = $P_2$ দ্বারা প্রাপ্ত কাজ।

$P_1$ দ্বারা কৃত কাজ এবং $P_2$ দ্বারা প্রাপ্ত কাজ—উভয়েই সমান হওয়ায় শক্তির নিত্যতা-সূত্র সংরক্ষিত।

উপরের আলোচনায় দেখা গেল যে, ঘর্ষণ-জনিত বাধা উপেক্ষা করলে, বড় পিস্টনের কাজ, ছোট পিস্টনের কাজের সমান হবে। ব্যবহারিক প্রয়োগে এর ব্যতিক্রম দেখা যেতেও পারে। কারণ, এখানে ঘর্ষণ-জনিত বাধা উপেক্ষণীয় না হলে, বড় পিস্টন থেকে যে-কাজ পাওয়া যায়, তা ছোট পিস্টন দ্বারা কৃত কাজের চেয়ে কম। সুতরাং, **ঘর্ষণ বিবেচনা করলে, এক্ষেত্রে ঘাত-বৃদ্ধি নীতি ও শক্তির নিত্যতা-সূত্র বিরোধী নয়, তা বোঝা যায়।**

**23.** একটি বৃত্তাকার পথে ঘুরন্ত একটি কৃত্রিম উপগ্রহের ভেতরে রাখা একটি পাত্রে তরলের যে-কোন বিন্দুতে চাপের মান কত হবে ?

[ What would be the pressure at a point inside a liquid, kept in a vessel in an artificial satellite, moving along a circular path. Give reason of your answer. ]

কৃত্রিম উপগ্রহে সব কিছুই ভারহীন, অর্থাৎ, অভিকর্ষজ ত্বরণ $g=0$.

যে-কোন বিন্দুতে চাপ $P=h\rho g$.

সুতরাং এখানে $g=0$ হওয়ায় $P=0$.

অতএব, বৃত্তাকার পথে ঘুরন্ত একটি কৃত্রিম উপগ্রহের ভেতরে রাখা একটি পাত্রে তরলের যে-কোন বিন্দুতে চাপের মান শূন্য হবে।

**24.** সাইফন কাকে বলে ? সাইফনের কার্যনীতি সংক্ষেপে ব্যাখ্যা কর।

[ What is Siphon ? Explain briefly the working of a Siphon. ]

**সাইফন** ( *Siphon* )

তরল পদার্থকে এক জায়গা থেকে অন্য জায়গায় না সরিয়ে, স্থানান্তরিত করার কাজে অথবা কোন জায়গায় নিরবচ্ছিন্নভাবে ধীরে ধীরে তরল প্রবাহের প্রয়োজন ঘটলে কিংবা উঁচু জায়গা থেকে নিচু জায়গায় তরল পদার্থের স্থানান্তরের কাজে **সাইফন** ব্যবহৃত হয়। সাইফনের সুবিধা এই যে, এর সাহায্যে সমগ্র **তরল পদার্থ আলোড়িত** না হয়ে ধীরে ধীরে উঁচু জায়গা থেকে নীচু জায়গায় স্থানান্তরিত হয় (fig. 27)। সাইফন একটি বক্রাকৃতি কাচের **নল**। কাচের **নলের** দুই বাহুর উচ্চতা সমান নয়। এক বাহু অপর বাহুর চেয়ে বেশী লম্বা। এখন এর কার্যপ্রণালী আলোচনা করা হচ্ছে।

**সাইফনের কার্যপ্রণালী ঃ**

XYZ একটি বক্রাকৃতি কাচের নল। XY ও YZ—এর অসমান দুটি বাহু। YZ-বাহুটি XY-বাহুর চেয়ে লম্বা। XYZ-সাইফনটির সাহায্যে A-পাত্র থেকে B-পাত্রে জল স্থানান্তরিত করতে হবে। XYZ-সাইফনটি জল-ভর্তি করা হ'ল। এখন, সাইফনের খোলা মুখটি দুই আঙুলের সাহায্যে চেপে ধরে, এর ছোট বাহুটি জলপূর্ণ A-পাত্রে এবং অপর মুখ শূন্য-পাত্রে ঢোকানো হয়ে থাকে। তারপর আঙুল সরিয়ে নেওয়া হয়। এর ফলে, খোলা-মুখ X দিয়ে জল সাইফনের মধ্য দিয়ে B-পাত্রে প্রবেশ করে। এখন একই অনুভূমিক রেখার তরলের মধ্যস্থিত E ও F—দুটি বিন্দু নেওয়া হ'ল। E-বিন্দুতে চাপ = বায়ুমণ্ডলের চাপ − EX ; জল-স্তম্ভের চাপ $= P-h_1\rho g$.

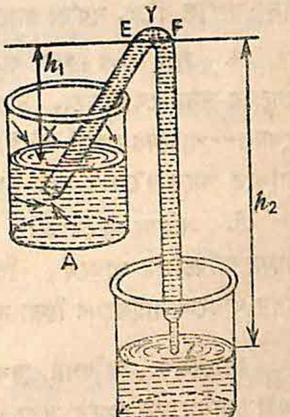


Fig. 27

### পয়সন-এর অনুপাত ( *Poisson's Ratio* )

যখন সমান মানের ও বিপরীতমুখী দুটি বাহ্যিক বলের প্রভাবে কোন বস্তু দৈর্ঘ্যে বেড়ে যায়, তখন বস্তুটি প্রস্থে নিশ্চয়ই কিছু ছোট হয়ে যাবে। প্রস্থের দিকে যে-বিকৃতি হয়, তাকে **পার্শ্বীয় বিকৃতি** (lateral strain) বলে। পরীক্ষার সাহায্যে দেখা গেছে যে, প্রযুক্ত বল স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে হলে, অনুদৈর্ঘ্য-বিকৃতি—পার্শ্বীয় বিকৃতির সমানুপাতিক হয়। এদের অনুপাত ধ্রুবক এবং এই ধ্রুবককে পয়সন-এর অনুপাত বলে। এর কোন একক নেই। বৃত্তাকার প্রস্থচ্ছেদ-বিশিষ্ট কোন তারের দৈর্ঘ্য L ও ব্যাস D হলে এবং বাহ্যিক বলের প্রভাবে এর দৈর্ঘ্য-বৃদ্ধি $l$ ও ব্যাস $d$ পরিমাণ ক'মে গেলে

অনুদৈর্ঘ্য-বিকৃতি $= l/\mathrm{L}$ এবং পার্শ্বীয় বিকৃতি $= d/\mathrm{D}$

$$\therefore \text{ পয়সন-এর অনুপাত, } \sigma = \frac{\text{পার্শ্বীয় বিকৃতি}}{\text{অনুদৈর্ঘ্য-বিকৃতি}} = \frac{d/\mathrm{D}}{l/\mathrm{L}} = \frac{d.\mathrm{L}}{l.\mathrm{D}}$$

একক ঘনকের ক্ষেত্রে, $\mathrm{L} = 1$ এবং $\mathrm{D} = 1$.

$$\therefore \quad \sigma = \frac{d}{l} = \frac{\text{পার্শ্বীয় সঙ্কোচন}}{\text{অনুদৈর্ঘ্য প্রসারণ}}।$$

### কাঠিন্য গুণাংক বা দৃঢ়তা গুণাংক ( *Modulus of Rigidity* )

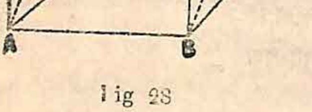



Fig 28

কোন বস্তুকে মুচড়ে দিলে, এর কৃন্তন-বিকৃতি (shearing strain) ঘটে। প্রযুক্ত পীড়নকে কৃন্তন-পীড়ন (shearing stress) বললে, স্থিতিস্থাপক সীমার মধ্যে এদের অনুপাত ধ্রুবক হবে। এই ধ্রুবককে **কাঠিন্য-গুণাংক** (rigidity modulus) বলে।

$$\text{অর্থাৎ, } \frac{\text{কৃন্তন-পীড়ন}}{\text{কৃন্তন-বিকৃতি}} = \text{কাঠিন্য-গুণাঙ্ক} = \eta$$

ECBA—একটি আয়তাকার খণ্ড। এর নিম্নতল AB দৃঢ়ভাবে আটকানো। উপরের তলে AB-র সমান্তরাল একটি বল P প্রয়োগ করলে খণ্ডটির আকার বদলে E′C′BA হবে (fig. 28)। এই ধরনের পরিবর্তনকে **কৃন্তন** (shear) বলে।

$$\text{এখন, } \quad \tan\theta = \frac{\mathrm{EE'}}{\mathrm{EA}}.$$

যদি $\theta$ অত্যন্ত ছোট হয়, তাহলে $\tan\theta = \theta$ ধরা যায়। $\theta$-কে কৃন্তন-কোণ বলে এবং এটাই কৃন্তন-বিকৃতির মান। এখানে মনে রাখতে হবে যে, $\theta$ কোণ রেডিয়ানে মাপা হয়েছে, ডিগ্রীতে নয়।

যদি ABCE-র ক্ষেত্রফল ∝ হয়, তবে,

$$\text{কৃন্তন-পীড়ন} = P/\alpha \text{ এবং কৃন্তন-বিকৃতি} = \theta$$

$$\therefore \text{ কাঠিন্য-গুণাঙ্ক} = \frac{\text{কৃন্তন-পীড়ন}}{\text{কৃন্তন-বিকৃতি}} = \frac{P/\alpha}{\theta} = \eta$$

ইস্পাত অপেক্ষা হীরে বেশী স্থিতিস্থাপক। কারণ, সমান দৈর্ঘ্য এবং সমান প্রস্থচ্ছেদ-বিশিষ্ট ইস্পাত এবং হীরের দুটি তার নিয়ে তাদের একই পরিমাণ বিকৃতি ঘটাতে হীরার ক্ষেত্রে অধিকতর পীড়ন প্রয়োজন।

**26.** একটি ধাতব দণ্ডকে দুটি ক্ষুরধারের উপর এমনভাবে স্থাপন করা হ'ল, যাতে উক্ত দণ্ডের কোন দিকে প্রসারণ ঘটে না। তাপমাত্রা-বৃদ্ধি 60°C হলে তাপজ পীড়নের মান কত?

দণ্ডের উপাদানের প্রসারণ-গুণাঙ্ক $= 12 \times 10^{-6}$ per °C

দণ্ডের উপাদনের ইয়ং-গুণাঙ্ক $= 20 \times 10^{11}$ dyne/sq. cm.

[ A metal rod is placed between two supports such that there can not be any expansion in either direction. Calculate the thermal stress when the temperature is raised by 60°C.

Co-efficient of expansion of the material of the rod $= 12 \times 10^{-6}$ per °C. Young's modulus of the material of the rod $= 20 \times 10^{11}$ dyne/sq.cm. ]

আমরা জানি যে,

$$\text{তাপজ পীড়ন} = \text{ইয়ং-গুণাঙ্ক} \times \text{রৈখিক প্রসারণ-গুণাঙ্ক} \times \text{উষ্ণতা-পরিবর্তন}$$
$$= Y\alpha(\theta_2 - \theta_1)$$

এখানে $Y = 20 \times 10^{11}$ dyne/sq.cm.

$\alpha = 12 \times 10^{-6}$ per °C

$\theta_2 - \theta_1 = 60°C$

$\therefore$ তাপজ পীড়ন $= 20 \times 10^{11} \times 12 \times 10^{-6} \times 60 = 144 \times 10^{7}$ dyne/sq.cm.

**27.** বায়ুমণ্ডলীয় চাপ বলতে কি বোঝ? বায়ুমণ্ডলীয় চাপ 76 সেমি. পারদ-স্তম্ভের সমান বলতে কি বোঝ?

[ What do you mean by atmospheric pressure? Explain the statement that the atmospheric pressure is 76 cm. of Hg.]

● **বায়ুমণ্ডলের চাপ** ( *Atmospheric Pressure* )

পৃথিবীর চারদিকে বায়ুর একটি আবরণ আছে ; এর নাম বায়ুমণ্ডল। এই বায়ু কতকগুলি গ্যাসের সমন্বয়ে গঠিত এবং বায়ুর ওজন আছে। অতএব, পৃথিবীর উপরের বায়ুমণ্ডল পৃথিবী-পৃষ্ঠে চাপ দিচ্ছে। আনুমানিক 250 মাইল ঊর্ধ্ব পর্যন্ত বিস্তৃত এই বায়ুমণ্ডলের চাপ নিতান্ত কম নয়। বায়ুর চাপ—তরল পদার্থের মতো, যে-কোন বিন্দুতে সর্বদিকে সমান। বায়ুমণ্ডলকে অসংখ্য স্তরের এক বায়ুসমষ্টি রূপে কল্পনা করা যেতে পারে। প্রতি স্তরই উপরের স্তরের ভার বহন করছে। এইভাবে কল্পনা করলে বোঝা যায়, সবচেয়ে নিচের বায়ুস্তরকে সর্বাধিক চাপ সহ্য করতে হচ্ছে।

**প্রকৃত-প্রসারণ-গুণাঙ্ক ঃ** কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ তরল পদার্থের 0°C উষ্ণতায় যে-আয়তন, 1°C উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য এর প্রতি একক আয়তনের যে প্রকৃত-প্রসারণ, তাকেই ঐ তরলের প্রকৃত-প্রসারণ-গুণাঙ্ক বলে।

ধরা যাক, কোন নির্দিষ্ট পরিমাণ তরলের 0°C উষ্ণতায় আয়তন $=v_0$ ; $t$°C-এ আপাত আয়তন $=v_1$ এবং $t$°C-এ প্রকৃত আয়তন $=v_2$.

অতএব, এর আপাত-প্রসারণ-গুণাঙ্ক $=\dfrac{v_1-v_0}{v_0\times t}$ /°C

একে $\gamma'$ দ্বারা সূচিত করা হয়।

আবার, তরলের প্রকৃত-প্রসারণ-গুণাঙ্ক $=\dfrac{v_2-v_0}{v_0\times t}$ /°C

একে $\gamma$ দ্বারা সূচিত করা হয়।

যদি পাত্রের পদার্থের আয়তন-প্রসারণ-গুণাঙ্ক $\gamma_g$ হয়, তাহলে $t$°C উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে পাত্রের প্রসারণ $=v_0\gamma_g t$.

যেহেতু, প্রকৃত-প্রসারণ = আপাত-প্রসারণ + পাত্রের প্রসারণ

$$\therefore\quad v_2-v_0=(v_1-v_0)+v_0\gamma_g t$$

বা, $$\frac{v_2-v_0}{v_0\times t}=\frac{v_1-v_0}{v_0\times t}+\gamma_g$$

$$\therefore\quad \gamma=\gamma'+\gamma_g$$

অর্থাৎ, প্রকৃত-প্রসারণ-গুণাঙ্ক

**= আপাত-প্রসারণ-গুণাঙ্ক + পাত্রের আয়তন-প্রসারণ-গুণাঙ্ক।**

● **তরলের প্রকৃত-প্রসারণ-গুণাঙ্ক নির্ণয় ঃ**

**ডুলং ও পেটিট-এর পরীক্ষার সাহায্যে** (By Dulong and Petit's Method)—

ডুলং ও পেটিট-এর নির্মিত যন্ত্রের সাহায্যে কোন তরলের প্রকৃত-প্রসারণ-গুণাঙ্ক নির্ণয় করা যায় (fig. 38)। একটি U-নলের দুটি বাহু, দুটি চোঙ দিয়ে ঘেরা থাকে। এর উপরিভাগ বাঁকা হয়ে কিছুদূর ভূমির সমান্তরাল থাকে ও এরপর আবার সোজা উপরের দিকে ওঠে। উপরের অংশের পিছনে একটি স্কেল ও আয়না দেওয়া আছে। যে তরল পদার্থের প্রকৃত প্রসারণ-গুণাঙ্ক নির্ণয় করতে হবে, তার কিছু অংশ এই U-নলের ভিতরে এমনভাবে রাখা হয় যে, তরল সরু নল পর্যন্ত উঠে আসে। এই অবস্থায় উভয় বাহুতেই তরল একই উচ্চতায় উঠবে। চোঙ-দুটির মধ্যে দুটি থার্মোমিটার প্রবেশ করিয়ে, একটির মধ্য দিয়ে বরফ-জল ও অপর চোঙটির মধ্যে দিয়ে বাষ্প চালনা করা হ'ল। দুই বাহুর উষ্ণতা বিভিন্ন হওয়াতে এদের ঘনত্ব বিভিন্ন হবে এবং তরল স্তম্ভের উচ্চতা সমান থাকবে না। আনুভূমিক' বাহু-দুটির মধ্যে দিয়ে যাতে তরলের সঞ্চালন না হয়—সেজন্য BC-অংশকে ঠাণ্ডা রাখা হয়।

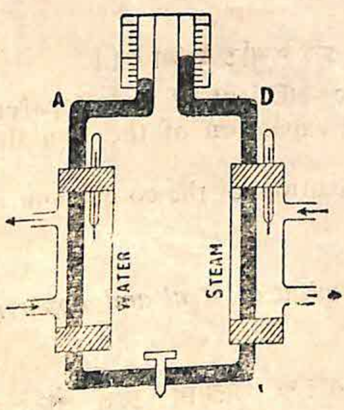


Fig. 38

ধরা যাক, বরফ-জলের চোঙের উচ্চতা = $t_1$°C, বরফ-জলের বাহুতে তরলের উচ্চতা = $h_1$
বরফ-জলের বাহুতে তরলের ঘনত্ব = $\rho_1$, গরম জলের চোঙের উষ্ণতা = $t_2$°C
গরম জলের বাহুতে তরলের উচ্চতা = $h_2$, গরম জলের বাহুতে তরলের ঘনত্ব = $\rho_2$

B ও C বিন্দুতে উভয় তরল-স্তম্ভের জন্য চাপ সমান ব'লে,

$$h_1\rho_1 g = h_2\rho_2 g$$

কিন্তু $\rho_0 = \rho_1(1+\gamma t_1)$ এবং $\rho_0 = \rho_2(1+\gamma t_2)$ ব'লে,

$$\frac{h_1\rho_0 g}{1+\gamma t_1} = \frac{h_2\rho_0 g}{1+\gamma t_2}$$

$$\text{বা, } h_1(1+\gamma t_2) = h_2(1+\gamma t_1) \quad (1)$$

$$\therefore \quad \gamma = \frac{h_2 - h_1}{h_1 t_2 - h_2 t_1}$$

$h_1$, $h_2$, $t_1$ ও $t_2$ নির্ণয় ক'রে $\gamma$-এর মান পাওয়া যাবে।

মনে রাখতে হবে যে, $h_1$ ও $h_2$ উচ্চতা BC-নলের অক্ষ থেকে মাপতে হবে।

আবার (1) থেকে,

$$\frac{1+\gamma t_2}{1+\gamma t_1} = \frac{h_2}{h_1} \qquad \text{বা, } (1+\gamma t_2)(1+\gamma t_1)^{-1} = \frac{h_2}{h_1}$$

$$\text{বা, } 1+\gamma(t_2 - t_1) = \frac{h_2}{h_1} \;[\text{প্রায়}] \qquad \text{বা, } \gamma = \frac{h_2 - h_1}{h_1(t_2 - t_1)} \quad (2)$$

এই সূত্রটিও মোটামুটিভাবে $\gamma$ নির্ণয় করার জন্য ব্যবহার করা যেতে পারে।

**34.** (ক) স্থির আয়তন ডাইলেটোমিটারের কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর।

(খ) জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণ বলতে কি বুঝ? হোপের পরীক্ষা বর্ণনা কর এবং এটি থেকে কি সিদ্ধান্তে আসা যায়, তা উল্লেখ কর।

(গ) একটি বীকার 0°C তাপমাত্রার জল দ্বারা কানায় কানায় পূর্ণ আছে। বীকারটিকে ঠাণ্ডা বা উত্তপ্ত করলে কি হবে?

[ (a) Explain the principle of constant dilatometer.

(b) What is anomalous expansion of water? Discuss Hope's experiment and explain the conclusion thereof.

(c) A beaker is filled to the brim at 0°C. What will happen if the beaker be cooled or heated? ]

(ক) **● স্থির-আয়তন ডাইলেটোমিটারের সাহায্যে তরলের প্রকৃত-প্রসারণ-গুণাঙ্ক নির্ণয় করা যায়।**

**বর্ণনা ঃ** স্থির-আয়তন ডাইলেটোমিটার একটি কাচের নল—যার নিচের দিক চওড়া এবং উপরের দিক সরু ও অংশাঙ্কিত। এর নিচে কিছু পরিমাণ পারদ থাকে। পারদের পরিমাণ এমন, যাতে যে-কোন উষ্ণতা-বৃদ্ধির জন্য নলের প্রসারণ ও পারদের প্রসারণ সমান হয়। পারদ ও কাচ-নির্মিত ডাইলেটোমিটারের পাত্রের প্রসারণ-গুণাঙ্ক হিসাব ক'রে দেখা গেছে যে, পারদের আয়তন, কাচের আয়তনের প্রায় সাত ভাগের এক ভাগ হলেই এইরকম হয়। যে-তরলের প্রকৃত-প্রসারণ-গুণাঙ্ক নির্ণয় করতে হবে, সেটি

পারদের উপর রাখা হয় (fig. 39)। তবে দেখতে হবে, ঐ তরলের সঙ্গে পারদের কোন রাসায়নিক বিক্রিয়া যাতে না হয়। ডাইলেটোমিটারটিকে গরম জলে বিভিন্ন উষ্ণতায় রেখে নল-সংলগ্ন দাগ থেকে বিভিন্ন ক্ষেত্রে তরলের আয়তন জেনে নেওয়া হয়। এতে যে-আয়তন পাওয়া যায়, সেটি প্রকৃত আয়তন। অতএব, উষ্ণতা এবং আয়তন জানা থাকে ব'লে প্রকৃত-প্রসারণ-গুণাঙ্ক সহজেই নির্ণয় করা যায়। কারণ,

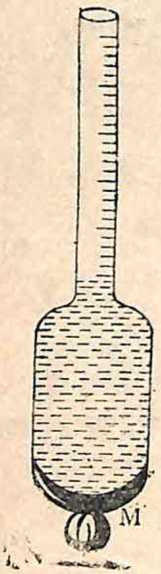


Fig. 39

$$\gamma = \frac{v_t - v_0}{v_0 t} /°C \qquad (1)$$

আয়তনগুলি ডাইলেটোমিটার নলের দাগ থেকে পাওয়া যায় এবং থার্মোমিটারের সাহায্যে $t°$ উষ্ণতার মান পাওয়া যায়। ফলে, 1-নং সমীকরণের ডানদিকের সকল রাশির মান জানা যায় ও $\gamma$ নির্ণীত হয়।

**দ্রষ্টব্য :** পারদ ব্যবহার না করলে এই যন্ত্রটির সাহায্যে $\gamma'$ বার করা যায়। তখন অবশ্য একে স্থির-আয়তন ডাইলেটোমিটার বলা হয় না, শুধু ডাইলেটোমিটার বলা হয়।

(খ) ● **জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণ** ( *Anomalous Expansion of Water* )

কঠিন, তরল ও বায়বীয় পদার্থে তাপ দিলে পদার্থের আয়তন বৃদ্ধি পায় ও ঘনত্ব কমে যায়। কিন্তু জলের ক্ষেত্রে এই নিয়মের কিছু ব্যতিক্রম দেখা যায়। 0°C থেকে 4°C পর্যন্ত উষ্ণতায় জল গরম করলে জলের আয়তন না বেড়ে কমে যায় এবং 4°C থেকে উষ্ণতা বাড়িয়ে চললে আয়তন বেড়েই চলে। অতএব, 4°C-এ জলের আয়তন সবচেয়ে কম ও এর ঘনত্ব সবচেয়ে বেশী। 0°C থেকে 4°C উষ্ণতা পর্যন্ত জলের প্রসারণ সাধারণ নিয়ম অনুযায়ী হয় না। এই প্রসারণকে **জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণ** বলে।

**পরীক্ষা :** একটি স্থির-আয়তন ডাইলেটোমিটারে তরলের বদলে জল ভর্তি করা হ'ল। যন্ত্রটিকে বরফ-জলে কিছুক্ষণ ডুবিয়ে রাখলে এর ভিতরের জলের উষ্ণতা 0°C হবে। এই সময়ে এর আয়তন দেখা হ'ল। বরফ-জলের উষ্ণতা ক্রমশঃ বাড়ানো হতে থাকলো এবং প্রতিবারই জলের উষ্ণতা ও আয়তন লিখে রাখা হ'ল। দেখা যাবে, 0°C থেকে 4°C উষ্ণতা পর্যন্ত জলের আয়তন কমতে থাকে। 4°C-এ আয়তন

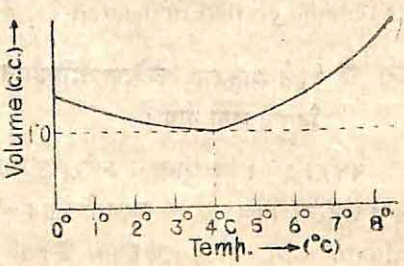


Fig. 40

সর্বনিম্ন হয় এবং এর পর আয়তন ক্রমেই বেড়ে চলে। উপরের চিত্রে (fig. 40) একটি উষ্ণতা ও আয়তনের লেখ (graph) দেখানো হয়েছে। যেহেতু 4°C উষ্ণতায় জলের

আয়তন সবচেয়ে কম, সেহেতু এর ঘনত্ব (D = M/V) ঐ উষ্ণতায় সর্বাধিক। 4°C-এর কাছাকাছি অংশে লেখটি বেশ আনুভূমিক ; অর্থাৎ 4°C-এর কাছাকাছি অঞ্চলে অল্প উষ্ণতার তারতম্যে ঘনত্বের বিশেষ কোন পরিবর্তন হয় না।

● **হোপ-এর পরীক্ষা** (*Hope's Experiment*)

4°C উষ্ণতায় জলের ঘনত্ব যে সবচেয়ে বেশী, সেটি দেখাবার জন্য বৈজ্ঞানিক হোপ একটি পরীক্ষা করেন।

**পরীক্ষা ও পর্যবেক্ষণ ঃ** A—একটি ধাতব চোঙ (fig. 41)। চোঙের উপরের ও নিচের অংশে দুটি ছিদ্রের ভিতর দিয়ে দুটি থার্মোমিটার $T_1$ ও $T_2$ ঢোকানো আছে। চোঙটির মাঝামাঝি অংশ ঘিরে একটি পাত্র (B) আছে। চোঙটি বিশুদ্ধ জলে পূর্ণ ক'রে B-পাত্রে লবণ ও বরফের হিমমিশ্রণ নেওয়া হয় (যার উষ্ণতা প্রায় −28°C)। এবার, থার্মোমিটার-দুটির পাঠে দেখা যাবে যে, $T_1$-থার্মোমিটারটির পাঠে কোন পরিবর্তন হচ্ছে না, কিন্তু $T_2$-থার্মোমিটারের পারদ ক্রমশঃ নেমে এসে 4°C-এ স্থির হয়ে যাচ্ছে। এরপর উপরের থার্মোমিটারের পারদ নামতে নামতে 0°C-এ আসবে। কিন্তু নিচের থার্মোমিটারের ($T_2$) পারদ 4°C উষ্ণতাতেই থেকে যাবে। কিছুক্ষণের মধ্যে জল জমে বরফ হতে আরম্ভ করবে এবং ঐ বরফ জলের উপর ভাসবে।

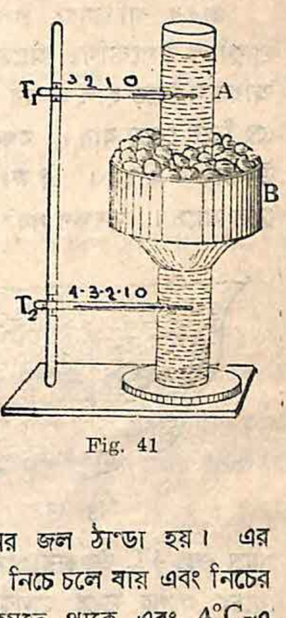



Fig. 41

**সিদ্ধান্ত ঃ** হিমমিশ্রণ মাঝখানে থাকায় প্রথমে মাঝখানের জল ঠাণ্ডা হয়। এর আয়তন কমে ও ঘনত্ব বাড়ে। ঘনত্ব-বৃদ্ধির জন্য ঐ জল নিচে চলে যায় এবং নিচের হাল্কা জল উপরে উঠে আসে। এর ফলে $T_2$-এর পাঠ কমতে থাকে এবং 4°C-এ স্থির হয়। মিশ্রণের উপরের অংশের জল এই কাজে অংশগ্রহণ করে না ব'লে এর পাঠ স্থির থাকে। উষ্ণতা আরও কমলে (4°C থেকে 0°C), মাঝখানের জল আয়তনে বাড়বে ও ঘনত্ব কমবে। কিন্তু ঐ জল উপরে উঠতে পারবে না, কারণ উপরের জলের চেয়ে এর ঘনত্ব তখনো বেশী। ধীরে ধীরে তাই মধ্যভাগের জল 0°C উষ্ণতায় আসবে এবং ছোট ছোট বরফের টুকরোর সৃষ্টি হবে। হাল্কা বরফ উপরের দিকে যাবে এবং উপরের অংশের উষ্ণতা খুব দ্রুত কমতে থাকবে। ফলে, $T_1$-এর পাঠ দ্রুত কমতে কমতে 0°C-এ পৌঁছবে। কিন্তু $T_2$-থার্মোমিটারটি সবচেয়ে ঘন জলের সংস্পর্শে থাকবে ব'লে এটি সর্বোচ্চ ঘন জলের উষ্ণতা দেখাবে।

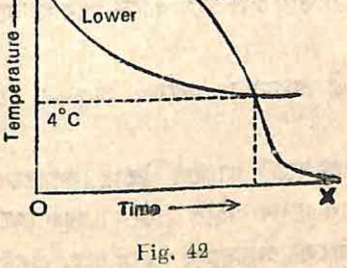



Fig. 42

উভয় থার্মোমিটারের সময়-উষ্ণতার একটি লেখ (graph) আঁকলে, দেখা যাবে, লেখদ্বয় 4°C-এ ছেদ করবে (fig. 42)। অর্থাৎ, 4°C-এ জলের ঘনত্ব সর্বোচ্চ।

**দ্রষ্টব্য ঃ** জলের ক্ষেত্রে সেজন্য 0°C থেকে 4°C পর্যন্ত উষ্ণতায় $\rho_t = \rho_0(1 + \gamma t)$ লিখতে হবে। আর, 4°C থেকে বেশী উষ্ণতায় $\rho_0 = \rho_t(1 + \lambda t)$ লিখতে হবে।

**জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণের উপযোগিতা** (*Usefulness of Anomalous Expansion of Water*)

জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণের এবং জল জমে বরফ হওয়ার সময় আয়তন-প্রসারণের প্রাকৃতিক উপযোগিতা আছে। 4°C উষ্ণতার পর জলকে আরও ঠাণ্ডা করলে, ঐ জল আয়তনে বেড়ে হাল্‌কা হয়। শীতপ্রধান দেশে আবহাওয়ার উষ্ণতা অনেক সময় 0°C-এর নিচে নেমে যায়। যখন আবহাওয়ার উষ্ণতা 4°C হয়, তখন ঐ স্থানের জলের উষ্ণতাও 4°C হয়। ঐ জল ভারী ব'লে নিচে চলে যায় এবং নিচের উষ্ণ জল উপরে চলে আসে। যতক্ষণ পর্যন্ত সমস্ত জলের উষ্ণতা 4°C না হয়, ততক্ষণ এইরকম চলে।

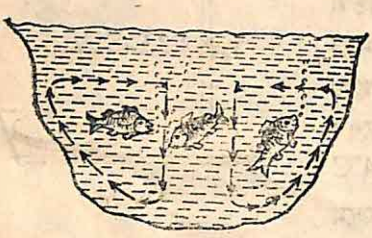


Fig 43

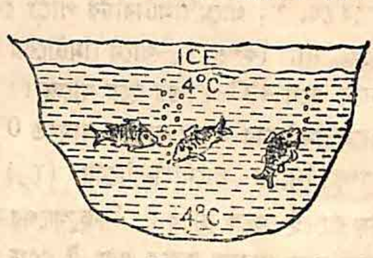



Fig 44

সমস্ত জল 4°C উষ্ণতায় এসে যাওয়ার পরও যদি উপরের জল ঠাণ্ডা হয়, তাহলে ঐ জল নিচের জলের চেয়ে হালকা ব'লে উপরেই থেকে যায়। উপরের জলের উষ্ণতা কমতে কমতে 0°C হয় এবং অবশেষে উপরের অংশই জমে বরফ হয়ে যায় (fig. 43 এবং fig. 44 দ্রষ্টব্য)। জল, তাপের কুপরিবাহী ব'লে, নিচেকার জল কার্যতঃ 4°C উষ্ণতাতেই থেকে যায়। এর ফলে, মাছ এবং জলজ প্রাণী জলের ভিতরে বেঁচে থাকে। কিন্তু যদি সমস্ত জলই বরফে পরিণত হ'ত, তাহলে এরা বেঁচে থাকতো না।

(গ) জলের প্রাথমিক তাপমাত্রা 0°C হলে ঠাণ্ডায় জল জমে বরফে পরিণত হবে এবং আয়তন বৃদ্ধি পাবে।

যদি 0°C তাপমাত্রায় 11 c.c. জল জমে, তবে ঐ তাপমাত্রায় বরফের আয়তন হবে 12 c.c.

নিমজ্জনের সূত্রানুসারে 0°C জলে বরফ ভাসতে থাকলে উহার আয়তনের 12 ভাগের 11 ভাগ জলের ভিতরে থাকবে এবং 1 ভাগ জলের বাইরে থাকবে। বরফ থেকে উৎপন্ন জলের আয়তন, বরফ কর্তৃক অপসারিত জলের আয়তনের সমান হবে, অর্থাৎ, বরফের নিমজ্জিত অংশের আয়তনের সমান হবে। বরফ গললেও বীকার থেকে জল

উপচে পড়বে না বা জলতল নেমে যাবে না। বীকারে 0°C তাপমাত্রার জলকে ঠাণ্ডা করলে জল কানায় কানায় পূর্ণ অবস্থাতেই থাকবে।

উক্ত বীকারের জলকে উত্তপ্ত করলে, অর্থাৎ, 4°C তাপমাত্রায় আনলে জলের ব্যতিক্রান্ত প্রসারণের ফলে জলের আয়তন বৃদ্ধি পাবে এবং বীকার থেকে জল উপচে পড়বে।

জলের তাপমাত্রা 4°-এর বেশী হলে জলের আয়তন কমে যাবে এবং বীকারে জলের তল কমে যাবে।

**35.** বয়েল সূত্র এবং চার্লস সূত্র বিবৃত এবং ব্যাখ্যা কর। আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে অবস্থা-সমীকরণ প্রতিষ্ঠা কর।

একটি গ্যাসের আয়তন এবং চাপ-গুণাঙ্ক-এর সংজ্ঞা দাও।

আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে দেখাও যে, উহারা সমান।

[State and explain Boyle's law and Charle's law and obtain the equation of state of a perfect gas.
Define volume and pressure co-efficients of a gas.
Show that they are equal in case of an ideal gas.]

● **বয়েল সূত্র** (*Boyle's Law*)

স্থির উষ্ণতায় গ্যাসের চাপ এবং আয়তনের মধ্যে যে সম্বন্ধ, সেটি বয়েল সূত্র নামে পরিচিত।

**সূত্র ঃ** স্থির উষ্ণতায় নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের চাপ ও আয়তন—ব্যস্তানুপাতিক।

স্থির উষ্ণতায় কোন নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের চাপ ও আয়তন যদি যথাক্রমে P এবং V হয়, তবে, $P \propto \frac{1}{V}$ বা, $PV = K$ ( ধ্রুবক )।

কাজেই, স্থির উষ্ণতায় কোন নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন এবং চাপ পরিবর্তিত হয়ে, যথাক্রমে $V_1$, $V_2$, $V_3$ এবং $P_1$, $P_2$, $P_3$ হয়, তবে $P_1V_1 = P_2V_2 = P_3V_3$ হবে।

● **চার্লস সূত্র** (*Charle's Law*)

স্থির চাপে উষ্ণতা ও আয়তনের মধ্যে যে-সম্বন্ধ, সেটি **চার্লস-সূত্র** নামে পরিচিত।

**সূত্র ঃ** স্থির চাপে কোন নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন প্রতি ডিগ্রী সেণ্টিগ্রেড উষ্ণতা বৃদ্ধি বা হ্রাসের জন্য উক্ত গ্যাসের 0°C তাপমাত্রায় যে-আয়তন হয়, তার $\frac{1}{273}$ ভাগ বৃদ্ধি বা হ্রাস পায়।

অর্থাৎ, কোন নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের 0 C উষ্ণতায় আয়তন $V_0$ c.c. হলে, চার্লস্‌-সূত্রানুযায়ী, স্থির চাপে

$$1^\circ \text{ উষ্ণতায় গ্যাসের আয়তন} = V_0 + \frac{V_0}{273} \text{ c.c.}$$

$$2^\circ C \;\; ,, \;\; ,, \;\; ,, \;\; = V_0 + \frac{2V_0}{273} \text{ c.c.}$$

$$3^\circ C \;\; ,, \;\; ,, \;\; ,, \;\; = V_0 + \frac{3V_0}{273} \text{ c.c.}$$

... ... ... ...

... ... ... ...

$$t^\circ C \;\; ,, \;\; ,, \;\; ,, \;\; = V_0 + \frac{V_0 t}{273} \text{ c.c.} = V_0\left(1 + \frac{1}{273}t\right) \text{ c.c.}$$

এই আয়তনকে $V_t$ বললে, $V_t = V_0\left(1 + \frac{1}{273}t\right)$

অনুরূপে, $t^\circ C$ তাপমাত্রা হ্রাসে গ্যাসের আয়তন $V_t = V_0\left(1 - \frac{1}{273}t\right)$.

পরম তাপমাত্রার আলোকে চার্লস্‌-সূত্রকে নিম্নলিখিতভাবে বিবৃত করা হয় :

স্থির চাপে কোন নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের আয়তন এর পরম তাপমাত্রার সহিত সমানুপাতিক।

অর্থাৎ $V \propto T$, যখন P ধ্রুবক।

বা, $V = KT$ যেখানে $K$ = Boltzmann-এর ধ্রুবক।

অতএব $\frac{V}{T} = K$ = ধ্রুবক।

বা, $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} = \cdots = \frac{V_n}{T_n}$.

**একটি আদর্শ গ্যাসের অবস্থা-সমীকরণের প্রতিষ্ঠা :**

যে গ্যাস বয়েল এবং চার্লস সূত্র পুরোপুরিভাবে মেনে চলে, তাকে আদর্শ গ্যাস বলে।

বয়েল সূত্র থেকে আমরা জানি যে,

$V \propto \frac{1}{P}$, যখন T স্থির।

আবার, চার্লস-সূত্র থেকে আমরা পাই যে,

$V \propto T$, যখন P স্থির।

$\therefore \quad V \propto \frac{T}{P}$, যখন T এবং P উভয়েই পরিবর্তিত হয়।

বা, $V = K\frac{T}{P}$, যেখানে $K$ = ধ্রুবক। ইহাকে Boltzmann-এর ধ্রুবক বলা হয়।

$\therefore\ PV = KT$ বা, $\frac{PV}{T}$ = ধ্রুবক।

অতএব, $\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2} = \cdots = \frac{P_nV_n}{T_n}$.

এখন যদি কোন গ্যাসে $n$-সংখ্যক অণু থাকে, তবে

$PV = nKT$

বা, $PV = RT$. (1)

যেখানে $R = nK$। R-কে বলা হয় **সর্বজনীন গ্যাস-ধ্রুবক** বা **আণবিক গ্যাস-ধ্রুবক**।

1-নং সমীকরণকে বলা হয় গ্যাসের **অবস্থা-সমীকরণ**।

**গ্যাসের আয়তন-গুণাঙ্ক :**

**সংজ্ঞা :** চাপ স্থির রেখে নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের তাপমাত্রা 0°C থেকে 1°C বৃদ্ধি করলে উহার প্রতি একক আয়তনে যে-আয়তন বৃদ্ধি হবে, তাকে উক্ত গ্যাসের আয়তন-গুণাঙ্ক বলে। একে $\gamma_p$ দ্বারা সূচিত করা হয়।

গণিতের ভাষায় $\gamma_p = \frac{V_t - V_0}{V_0 t}$

যেখানে $V_0$ = 0°C তাপমাত্রায় কোন গ্যাসের আয়তন ;

$V_t$ = $t$°C তাপমাত্রায় কোন গ্যাসের আয়তন ;

$t$ = তাপমাত্রা-বৃদ্ধি।

**গ্যাসের চাপ-গুণাঙ্ক :**

**সংজ্ঞা :** আয়তন স্থির রেখে নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের তাপমাত্রা 0°C থেকে 1°C বৃদ্ধি করলে উহার প্রতি একক চাপে যে-চাপ বৃদ্ধি পায়, তাকেই উক্ত গ্যাসের চাপ-গুণাঙ্ক বলে। একে $\gamma_v$ দ্বারা সূচিত করা হয়।

গণিতের ভাষায় $\gamma_v = \frac{P_t - P_0}{P_0 \times t}$

যেখানে $P_0$ = 0°C তাপমাত্রায় কোন গ্যাসের চাপ ;

$P_t$ = $t$°C ;

$t$ = তাপমাত্রা-বৃদ্ধি।

**আদর্শ গ্যাসের দুটি প্রসারণ-গুণাঙ্কের সম্পর্ক :**

যে-সব গ্যাস বয়েল ও চার্লস্-এর সূত্র মেনে চলে, অর্থাৎ, আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে $\gamma_p$ ও $\gamma_v$ সমান।

মনে করা যাক, 0°C তাপমাত্রার কোন গ্যাসের চাপ ও আয়তন যথাক্রমে $P_0$ ও $V_0$। এখন আয়তন ঠিক রেখে ঐ গ্যাসের তাপমাত্রা $t$°C-এ বৃদ্ধি করায়, চাপ $P_0$ থেকে বেড়ে $P_t$ হলে, লেখা যায়,

$$P_tV_0 = P_0(1+\gamma_v t)V_0 \quad (1)$$

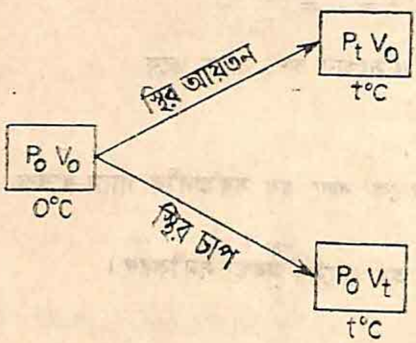



Fig. 45

আবার, মনে করা যাক, গ্যাসের চাপ স্থির রেখে তাপমাত্রা $t$°C-এর বৃদ্ধি করায়, আয়তন $V_0$ থেকে বেড়ে $V_t$ হ'ল। অতএব লেখা যায়,

$$P_0V_t = P_0V_0(1+\gamma_p t) \quad (2)$$

যেহেতু, উভয় ক্ষেত্রেই গ্যাসীয় পদার্থটি একই তাপমাত্রায় ($t$°C) আছে, সুতরাং বয়েল-এর সূত্র থেকে লেখা যায়,

$$P_0V_t = P_tV_0$$

বা, $P_0V_0(1+\gamma_p t) = P_0V_0(1+\gamma_v t)$

বা, $1+\gamma_p t = 1+\gamma_v t$ বা, $\gamma_p = \gamma_v$

অর্থাৎ, আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে চাপ-গুণাঙ্ক = আয়তন-গুণাঙ্ক। সকল গ্যাসের ক্ষেত্রেই $\gamma_p$ বা $\gamma_v$-এর মান $= \frac{1}{273}$.

36. চার্লস্-সূত্র থেকে চরম শূন্য তাপমাত্রার ধারণা কিভাবে পাওয়া যায়, তাহা ব্যাখ্যা কর। উষ্ণতার চরম স্কেল বলতে কি বুঝ?

[ How is the concept of absolute zero temperature obtained from charle's law. What do you mean by absolute scale of temperature ? ]

**উষ্ণতার পরম স্কেল এবং চরম শীতলতা :**

স্থির চাপে, নির্দিষ্ট ভরের কোন গ্যাসের 0°C উষ্ণতায় $V_0$ c.c. আয়তন হলে এবং $t$°C উষ্ণতায় আয়তন $V_t$ হলে,

$$V_t = V_0\left(1+\frac{t}{273}\right)$$

তাহলে $-1^{\circ}C$ উষ্ণতায়, $V_{-1}=V_0(1-\frac{1}{273})$ c.c.

$-2^{\circ}C$ ,, $V_{-2}=V_0(1-\frac{2}{273})$ c.c.

এইভাবে উষ্ণতা কমাতে-কমাতে, যদি $-273^{\circ}C$ উষ্ণতায় আসা যায়, তখন

$$V_{-273}=V_0(1-\frac{273}{273}) \text{ c.c.}=0 \text{ c.c.}$$

অর্থাৎ, কোন গ্যাসকে শীতল ক'রে যদি $-273^{\circ}C$-এ নিয়ে যাওয়া যায়, তবে গ্যাসের আয়তন লোপ পাবে। উষ্ণতা আরো কমালে ঋণাত্মক আয়তন পাওয়া যাবে। ঋণাত্মক আয়তনের কোন অর্থ নেই।

কেবল আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রেই নয়, বিজ্ঞানী কেল্‌ভিন থার্মোডায়নামিক্সের সাহায্যে প্রমাণ ক'রে দেখিয়েছেন যে, কোন বস্তুরই উষ্ণতা $-273^{\circ}$-এর নীচে হতে পারে না।

তাই সর্বনিম্ন উষ্ণতা $-273^{\circ}C$ ; কোন কিছুই এর চেয়ে নিম্নতর উষ্ণতা প্রাপ্ত হতে পারে না। শুধু পৃথিবীতে নয়—সৌরজগৎ, তথা, মহাবিশ্বে এর চেয়ে কম উষ্ণতা কোথাও থাকতে পারে না। এজন্য $-273^{\circ}C$-কে **সর্বনিম্ন উষ্ণতা** বা **পরম শূন্য উষ্ণতা** বা **চরম শীতলতা** বলা হয়।

যথার্থ বলতে, আমরা $-273^{\circ}C$ উষ্ণতায় পৌঁছোতে পারি না।

যদি কোন গ্যাসের বিভিন্ন আয়তন ও উষ্ণতা দিয়ে একটি লেখচিত্র আঁকা যায়, তাহলে সেটি একটি সরললেখা হবে। ঐ সরলরেখাকে বর্ধিত করলে, ঐটি উষ্ণতা-অক্ষকে (fig. 46) $-273^{\circ}C$ ছেদ করবে। অর্থাৎ $-273^{\circ}C$ উষ্ণতায় কোন গ্যাসেরই কোন আয়তন থাকে না।

গ্যাসের চাপীয় সূত্র থেকেও আমরা পাই যে, $-273^{\circ}C$ উষ্ণতায় যে-কোন গ্যাসের চাপ শূন্য হয়ে যাবে। কারণ,

$$P_{-273}=P_0(1-\frac{273}{273})=0.$$

পরম শূন্য উষ্ণতাকে শূন্য ধরে উষ্ণতার অপর আর একটি স্কেল তৈরি করা যায়; তাকে **উষ্ণতার পরম স্কেল** বলা হয়। এই স্কেলের প্রতি ডিগ্রী উষ্ণতার ব্যবধান সেণ্টিগ্রেড বা ফারেনহাইট যে-কোন একটিতে হতে পারে। সেণ্টিগ্রেড স্কেলে এর প্রতি ডিগ্রীকে ভাগ করলে, তাকে **পরম সেণ্টিগ্রেড স্কেল** বলে। তখন উষ্ণতাকে °K ( ডিগ্রী কেল্‌ভিন ) দিয়ে নির্দিষ্ট করা হয়।

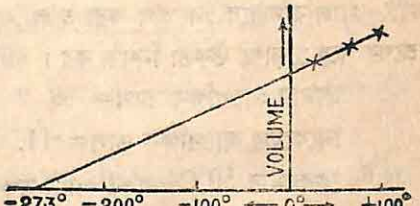



Fig. 46

অর্থাৎ, এক্ষেত্রে, $-273^{\circ}C=0^{\circ}K$,

$-272^{\circ}C=1^{\circ}K$

এইভাবে, $0°C = 273°K = T_0$ ( ধরা হ'ল )

$$1°C = 274°K = (T_0 + 1)$$

$$100°C = 370°K = (T_0 + 100)$$

$$t°C = (273 + t)°K = (T_0 + t)$$

তাহলে, কেল্‌ভিন-স্কেল অনুযায়ী, বরফের গলনাঙ্ক = 273°K ও জলের স্ফুটনাঙ্ক = 373°K.

সেণ্টিগ্রেড স্কেলে ভাগ না ক'রে যদি প্রতি ডিগ্রীকে ফারেনহাইট স্কেলে ভাগ করা হয়, তবে ঐ স্কেলকে **পরম ফারেনহাইট** স্কেল বলে। তখন উষ্ণতা °R ( ডিগ্রী র‍্যান্‌কিন ) দ্বারা সূচিত করা হয়।

এখন, $-273°C = -459{\cdot}4°F$ $\left[\frac{F-32}{9} = \frac{C}{5}\right.$ অনুযায়ী $\left.\right]$

অতএব,

$$-459{\cdot}4°F = 0°R$$

$$-458{\cdot}4°F = 1°R$$

$$0°F = 459{\cdot}4°R$$

$$32°F = 491{\cdot}4°R$$

$$212°F = 671{\cdot}4°R$$

$$t°F = (459{\cdot}4 + t)°R.$$

তাহলে, র‍্যান্‌কিন-স্কেল অনুযায়ী বরফের গলনাঙ্ক = 491·4°R ও জলের স্ফুটনাঙ্ক = 671·4°R.

37. সংজ্ঞা লেখ :

আপেক্ষিক তাপ, জলসম, তাপ-ধারকত্ব, ক্যালরি।

একটি বস্তুর জলসম এবং তাপ-ধারকত্বের মধ্যে পার্থক্য কি ?

(ক) একটি সংকর ধাতুতে 60% তামা এবং 40% নিকেল আছে। এই ধাতুর 50 গ্রাম ওজনের একটি টুকরাকে 50°C পর্যন্ত উত্তপ্ত ক'রে 10 গ্রাম জলসম-বিশিষ্ট একটি ক্যালরিমিটারে নিক্ষেপ করা হ'ল, যাতে 140 গ্রাম জল 20°C উষ্ণতায় আছে। মিশ্রণের পরে চূড়ান্ত উষ্ণতা নির্ণয় কর।

তামার আপেক্ষিক তাপ = ·09

নিকেলের আপেক্ষিক তাপ = ·11.

(খ) কেবলমাত্র 50°C পর্যন্ত পাঠে সক্ষম, এরূপ একটি থার্মোমিটার দ্বারা তুমি কিভাবে চুল্লীর তাপমাত্রা নির্ণয় করবে—তাহা নির্ণয় কর ?

[ Define specific heat, water equivalent, thermal capacity, calorie. Distinguish between water equivalent and thermal capacity of a body.

(a) An alloy contains 60% Copper and 40% Nickel. A piece of this alloy of mass 50 gms is heated to 50°C and then it is dropped

into 140 gms of water at 20°C kept in copper calorimeter of water equivalent of 10 gms. Calculate the final temperature of the mixture. Specific heat of Copper = ·09 ; Specific heat of Nickel = ·11.

(b) How would you determine the temperature of a furnace with the help of a thermometer which can read upto 50°C only ? ]

## আপেক্ষিক তাপ (*Specific Heat*)

ধরা যাক, $m$ gm ভর-বিশিষ্ট কোন বস্তুকে $t$°C-এ উত্তপ্ত করতে H ক্যালরি তাপের প্রয়োজন হ'ল এবং $m$ gm জল সম-পরিমাণে ($t$°C) উষ্ণ করতে $h$ ক্যালরি তাপ লাগলো। তাহলে, জলের সাপেক্ষে বা তুলনায় বস্তুটির $H/h$ গুণ তাপের প্রয়োজন। একেই **আপেক্ষিক তাপ** বলে। অর্থাৎ, কোন বস্তুর আপেক্ষিক তাপকে $s$ লিখলে,

$$s = \frac{\text{পদার্থের } m \text{ gm ভরের } t^\circ\text{C উষ্ণতা-বৃদ্ধি করতে প্রয়োজনীয় তাপ}}{m \text{ gm ভর-বিশিষ্ট জলের } t^\circ\text{C উষ্ণতা-বৃদ্ধি করতে প্রয়োজনীয় তাপ}}।$$

যেহেতু তাপ, ভর ও উষ্ণতার সঙ্গে অনুপাতিক, সেহেতু

$$s = \frac{\text{পদার্থের 1 gm ভরের 1°C উষ্ণতা-বৃদ্ধি করতে প্রয়োজনীয় তাপ}}{\text{1 gm ভর-বিশিষ্ট জলের 1°C উষ্ণতা-বৃদ্ধি করতে প্রয়োজনীয় তাপ}}।$$

এটি আপেক্ষিক তাপের একটি সংজ্ঞা। এই সংজ্ঞা থেকে বোঝা যায়, আপেক্ষিক গুরুত্বের মতো আপেক্ষিক তাপও একই এককের একটি অনুপাত। সুতরাং, এর কোন একক নেই—এটি একটি সংখ্যামাত্র। তামার আপেক্ষিক তাপ 0·096 ; এর অর্থ—যে-কোন পরিমাণ তামার কোন নির্দিষ্ট উষ্ণতা বা তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে যে-তাপের প্রয়োজন এবং সম-পরিমাণ জলের ঐ একই তাপমাত্রা-বৃদ্ধিতে যে-তাপের প্রয়োজন, তাদের অনুপাত 0·096।

আপেক্ষিক তাপের আরও একটি সংজ্ঞা দেওয়া যায়। **এই সংজ্ঞাটি বর্তমানে বিশেষভাবে প্রচলিত।** এইমাত্র বলা হয়েছে,

$$s = \frac{\text{পদার্থের 1 gm ভরের 1°C উষ্ণতা-বৃদ্ধি করতে প্রয়োজনীয় তাপ}}{\text{1 gm ভর-বিশিষ্ট জলের 1°C উষ্ণতা-বৃদ্ধি করতে প্রয়োজনীয় তাপ}}।$$

বা, $$s = \frac{\text{পদার্থের 1 gm ভরের 1°C উষ্ণতা-বৃদ্ধি করতে প্রয়োজনীয় তাপ}}{\text{1 ক্যালরি}}।$$

∴ পদার্থের 1 gm ভরের 1°C উষ্ণতা বা তাপমাত্রা বৃদ্ধি করতে প্রয়োজনীয় তাপ = $s$ ক্যালরি (1)

অনুরূপভাবে, এফ. পি. এস. এককে পদার্থের 1 lb ভরকে 1°F তাপমাত্রা বৃদ্ধি করতে প্রয়োজনীয় তাপ = $s$ B.th.u.

**সংজ্ঞা :** কোন পদার্থের একক ভরের 1° উষ্ণতা-বৃদ্ধি করতে যে-তাপের প্রয়োজন, তাপের সেই মানকে ঐ পদার্থের আপেক্ষিক তাপ বলে।

এই সংজ্ঞা অনুযায়ী, সি. জি. এস. এককে জলের আপেক্ষিক তাপ প্রতি গ্রামে প্রতি ডিগ্রী সেণ্টিগ্রেডে এক ক্যালরি (1 cal. per gram per°C বা cal/gm/°C)।

আবার, এফ. পি. এস. এককে জলের আপেক্ষিক তাপ প্রতি পাউণ্ডে প্রতি ডিগ্রি ফারেনহাইটে এক ব্রি.থা.এ. (B.th.u/lb/°F)।

তাহলে, এই সংজ্ঞা অনুযায়ী, **আপেক্ষিক তাপ—সংখ্যামাত্র নয়**। একে cal/gm/°C বা B.th.u/lb/°F—এই ধরনের এককে প্রকাশ করা যায়।

● **জল-সম** (*Water-Equivalent*)

**সংজ্ঞা ঃ** কোন বস্তুর 1° উষ্ণতা বা তাপমাত্রা বৃদ্ধি করতে যে-তাপের প্রয়োজন, সেই তাপ দিয়ে যত গ্রাম জলের 1° উষ্ণতা বৃদ্ধি করতে পারা যায়, সেই পরিমাণ জলকে ঐ বস্তুর জল-সম বলে।

1°C উষ্ণতা বৃদ্ধিতে কোন বস্তুর প্রয়োজন হয় $ms$ ক্যালরি।

বিপরীতক্রমে, 1 ক্যালরি তাপে 1°C উষ্ণতা-বৃদ্ধি হয় 1 গ্রাম জলের।

$\therefore$ $ms$ " " " " " $ms$ গ্রাম জলের।

তাহলে, বস্তুর জল-সম $= ms$ গ্রাম। একে $w$ বললে,

$$\text{জল-সম} = w = ms \text{ gm.}$$

কোন বস্তুর জল-সম জানা থাকলে ঐ বস্তুর $t$°C তাপমাত্রা বৃদ্ধি করতে মোট তাপের দরকার $= wt$. ($\because$ $H = mst$)।

● **তাপগ্রাহিতা বা তাপ-ধারকত্ব** (*Thermal Capacity*)

**সংজ্ঞা ঃ** কোন বস্তুর 1° উষ্ণতা বা তাপমাত্রা বৃদ্ধি করতে যে-পরিমাণ তাপ লাগে, তাকেই বস্তুর **তাপগ্রাহিতা** বা **তাপ-ধারকত্ব** বলে।

এখন $m$ ভর ও $s$ আপেক্ষিক তাপ-বিশিষ্ট বস্তুর $t$°C উষ্ণতা-বৃদ্ধিতে তাপের প্রয়োজন $= mst$. তাহলে 1°C উষ্ণ করলে তাপের প্রয়োজন $= ms$; একেই তাপগ্রাহিতা বলে।

$$\therefore \quad \text{তাপগ্রাহিতা} = ms = \frac{mst}{t} = \frac{H}{t} \text{ cal/°C}$$

● **ক্যালরি** (*Calorie*)

1 গ্রাম বিশুদ্ধ জলের 1°C উষ্ণতা বাড়াতে যে-তাপের প্রয়োজন, তাকে সি.জি.এস. পদ্ধতিতে একক তাপ বলা হয় এবং একে **ক্যালরি** (calorie) বলে।

<u>জল-সম ও তাপগ্রাহিতার পার্থক্য</u> (Difference between water-equivalent and thermal capacity) ঃ

পূর্বালোচনা থেকে দেখা গিয়েছে যে, জল-সম ও তাপগ্রাহিতার সংখ্যাগত মান এক (numerically equal); উভয়েই বস্তুর ভর ও আপেক্ষিক তাপের গুণফল, কিন্তু এদের একক বিভিন্ন।

জল-সম হ'ল কোন বস্তুর সমার্থক জলের পরিমাণ—একে গ্রাম বা পাউণ্ডে পরিমাপ করা হয়, কিন্তু তাপগ্রাহিতা হ'ল সেই বস্তুর জন্য বিশেষ ক'রে একটি নির্দিষ্ট পরিমাণ তাপ—একে ক্যালরি বা ব্রিটিশ থার্মাল এককে প্রকাশ করা হয়।

(ক) প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে,

সংকর ধাতুতে তামার পরিমাণ $= 50 \times \frac{60}{100} = 30$ gm.

এবং নিকেলের পরিমাণ $= 50 \times \frac{40}{100} = 20$ gm.

তামা কর্তৃক বর্জিত তাপ $= 30 \times \cdot 09 \times (50 - t)$ calories

যেখানে $t =$ মিশ্রণের চূড়ান্ত তাপমাত্রা।

নিকেল কর্তৃক বর্জিত তাপ $= 20 \times \cdot 11 \times (50 - t)$ calories

অতএব, সংকর ধাতু কর্তৃক মোট বর্জিত তাপ

$$= 30 \times \cdot 09 \times (50 - t) + 20 \times \cdot 11 \times (50 - t)$$
$$= (2 \cdot 7 + 2 \cdot 2)\ (50 - t)$$
$$= 4 \cdot 9 (50 - t) \text{ calories.}$$

জল এবং ক্যালরিমিটার কর্তৃক গৃহীত তাপ $= (140 + 10)\ (t - 20)$

$= 150\ (t - 20)$ calories.

ক্যালরিমিটারের মূল নীতি অনুসারে গৃহীত তাপ = বর্জিত তাপ

অতএব, $150\ (t - 20) = 4 \cdot 9\ (50 - t)$

বা, $150\ t - 3000 = 245 - 4 \cdot 9\ t.$

বা, $154 \cdot 9\ t = 3245$

বা, $t = \frac{3245}{154 \cdot 9} = 20 \cdot 95^{\circ}$C.

∴ নির্ণেয় মিশ্রণের চূড়ান্ত তাপমাত্রা $= 20 \cdot 95^{\circ}$C.

(খ) $m$ ভর এবং $s$ আপেক্ষিক-তাপ-বিশিষ্ট একটি কঠিন বস্তু নেওয়া হ'ল। উক্ত বস্তুকে চুল্লীতে কিছুক্ষণ রাখলে উহা চুল্লীর তাপমাত্রা $t^{\circ}$C প্রাপ্ত হবে। এইবার বস্তুটিকে $t_1{}^{\circ}$C তাপমাত্রা-যুক্ত একটি ক্যালরিমিটারের জলে ফেলা হ'ল। ক্যালরিমিটারের জলের পরিমাণ এমনভাবে লইতে হবে, যেন অন্তিম তাপমাত্রা $t_2{}^{\circ}$C—50°C তাপমাত্রার কম হয়। সুতরাং, $t_2{}^{\circ}$C তাপমাত্রা কেবলমাত্র 50°C পর্যন্ত পাঠে সক্ষম থার্মোমিটার দ্বারা পরিমাপ করা যায়। ধরা হ'ল, ক্যালরিমিটারের জলসম = W gm. উক্ত ক্যালরিমিটারে $t_1{}^{\circ}$C তাপমাত্রার $m_1$ gm জল আছে।

অতএব, কঠিন বস্তু কর্তৃক বর্জিত তাপ $= ms\ (t - t_2)$ calories.

ক্যালরিমিটার কর্তৃক গৃহীত তাপ $= W(t_2 - t_1)$ calories

জল কর্তৃক গৃহীত তাপ $= m_1(t_2 - t_1)$ calories

অতএব, মোট গৃহীত তাপ $= (W + m_1)\ (t_2 - t_1)$ calories.

ক্যালরিমিটারের নীতি অনুসারে, গৃহীত তাপ = বর্জিত তাপ।

অতএব, $(W+m_1)(t_2-t_1)=ms(t-t_2)$

বা, $(W+m_1)(t_2-t_1)+mst_2=mst.$

বা, $$t=\frac{(W+m_1)(t_2-t_1)}{ms}+t_2$$

ডানপাশের সমস্ত রাশিগুলির মান জানা আছে ব'লে এই পদ্ধতিতে চুল্লীর তাপমাত্রা $t$-এর মান নির্ণয় করা যায়।

38. বাষ্পায়ন এবং স্ফুটনের মধ্যে পার্থক্য কি? গলনের লীন-তাপ এবং বাষ্পীভবনের লীন-তাপ-এর সংজ্ঞা দাও?

বরফ গলনের লীন-তাপ 80 cal/gm বলতে কি বোঝ?

[Distinguish between evaporation and boiling. Define latent heat of fusion and vaporisation.

What do you mean by the statement that the latent heat of fusion of ice is 80 cal/gm.]

● **বাষ্পায়ন ও স্ফুটনের পার্থক্য** (*Difference between Evaporation and Boiling*)

(i) ধীরে ধীরে তরল পদার্থের বায়বীয় পদার্থে পরিণত হওয়াকে **বাষ্পায়ন** বলে। একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় ও চাপে তরল পদার্থের বায়বীয় পদার্থে পরিণত হওয়ার নাম **স্ফুটন**।

(ii) বাষ্পায়ন সকল উষ্ণতা বা তাপমাত্রায় হতে পারে; উষ্ণতা বাড়ালে বাষ্পায়নের হার বাড়ে; কিন্তু স্ফুটন একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় হয়ে থাকে।

(iii) বাষ্পায়ন একটি ধীরগতি প্রক্রিয়া, কিন্তু স্ফুটন হচ্ছে দ্রুতগতি প্রক্রিয়া।

(iv) বাষ্পায়নে তরলের উপরের তল থেকেই বাষ্প বেরোয়, কিন্তু স্ফুটনকালে সমস্ত তরল আলোড়িত হয় এবং তরলের সর্বত্র থেকে বাষ্প বেরোয়।

● **গলনের লীন-তাপ** (*Latent Heat of Fusion*)

**সি. জি. এস. এককে গলনের লীন-তাপের মান :** কোন কঠিন পদার্থের এক গ্রাম ভরকে উষ্ণতার পরিবর্তন না ঘটিয়ে গলাতে যে-তাপের প্রয়োজন, সেই তাপকে ঐ পদার্থের গলনের লীন-তাপ বলে। আবার, এক গ্রাম তরল—উষ্ণতার পরিবর্তন না ক'রে যখন কঠিন অবস্থা প্রাপ্ত হয়, তখন তরলটি যে-তাপ বর্জন করে, সেটিও গলনের লীন-তাপ।

**এফ. পি. এস. এককে গলনের লীন-তাপের মান :** উষ্ণতা স্থির রেখে এক পাউণ্ড কঠিন পদার্থকে তরলে পরিণত করতে যে-পরিমাণ ব্রি.থা.এ. (B.th.a.) তাপের প্রয়োজন, তাকে গলনের লীন-তাপ বলে। আবার, এক পাউণ্ড তরল—উষ্ণতার পরিবর্তন না ক'রে যখন কঠিন অবস্থা প্রাপ্ত হয়, তখন তরলটি যে-তাপ বর্জন করে, সেটিও গলনের লীন-তাপ।

● **বাষ্পীভবনের লীন-তাপ** ( *Latent Heat of Vaporisation* )

সাধারণ চাপে 100°C-এ জল ফুটতে আরম্ভ করে এবং এর পর স্টীমে পরিণত হয়। জল থেকে স্টীমে পরিবর্তিত হওয়ার সময় উষ্ণতা একই থেকে যায়। তখন, প্রযুক্ত তাপই হচ্ছে বাষ্পীভবনের লীন-তাপ।

**সংজ্ঞা ঃ** স্থির উষ্ণতায় একক ভরের তরল পদার্থ নির্দিষ্ট চাপে বাষ্পে পরিণত হতে যত তাপ নেয়, সেই তাপকে ঐ তরলের বাষ্পীভবনের লীন-তাপ বলে।

আবার, স্থির উষ্ণতায় ও নির্দিষ্ট চাপে একক ভরের বাষ্প তরলে পরিণত হতে যে-পরিমাণ তাপ ছাড়ে, তাকেও বাষ্পীভবনের লীন-তাপ বলে।

এক গ্রাম জলকে সাধারণ চাপে এক গ্রাম স্টীমে ( উষ্ণতা 100°C-ই থাকবে ) পরিণত করতে প্রায় 539 ক্যালরি তাপের প্রয়োজন হয়। অর্থাৎ, সি· জি· এস· পদ্ধতিতে 539 ক্যালরি তাপই হ'ল জলের বাষ্পীভবনের লীন-তাপ। আবার, এক গ্রাম স্টীম থেকে 539 ক্যালরি তাপ বার হয়ে গেলে, স্টীম এক গ্রাম জলে (100°C) পরিণত হবে (fig. 47)।

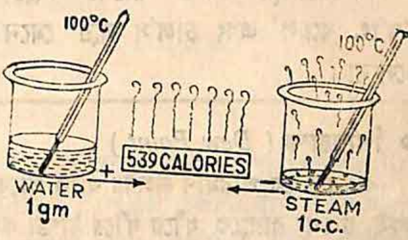



Fig. 47

এফ· পি· এস· পদ্ধতিতে এক পাউণ্ড জলকে সাধারণ চাপে এবং 212°F উষ্ণতায় এক পাউণ্ড স্টীমে পরিণত করতে যতটা ব্রি·থা·একক প্রয়োজন, সেটাই বাষ্পীভবনের লীন-তাপ।

বরফের লীন-তাপ 80 ক্যালরি/গ্রাম, অর্থাৎ, 0°C উষ্ণতায় এক গ্রাম বরফে 80 ক্যালরি তাপ প্রয়োগ করলে, বরফ 0°C উষ্ণতায় 1 গ্রাম জলে পরিণত হবে। আবার, 0°C উষ্ণতায় 1 গ্রাম জল থেকে, উষ্ণতার পরিবর্তন না ঘটিয়ে, 80 ক্যালরি তাপ বের ক'রে নিলে, ঐ জল 1 গ্রাম বরফে পরিণত হবে (fig. 48)।

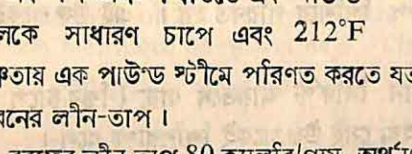



Fig. 48

39. সংপৃক্ত বাষ্প এবং অসংপৃক্ত বাষ্পের মধ্যে পার্থক্য কি? শিশিরাঙ্ক এবং আপেক্ষিক আর্দ্রতা কাকে বলে?

কোন একটি দিনে একটি ঘরের তাপমাত্রা এবং শিশিরাঙ্ক যথাক্রমে 25·5°সে. এবং 12° সে.। 12° সে., 25° সে. এবং 26° সে. তাপমাত্রায় সংপৃক্ত বাষ্পচাপ যথাক্রমে 10·5 মিমি., 23·75 মিমি. এবং 25·18 মিমি· পারদের সমান হলে, ঘরের আপেক্ষিক আর্দ্রতার মান বাহির কর।

[Distinguish between saturated vapour and unsaturated vapour.

Define Dew point, Relative humidity. The temperature and the dew point of room on a cartain day are 25·5°C and 12°C respectively. If the saturated vapour pressures at 12°C, 25°C and 26°C respectively 10°5 mm., 23·75 mm. and 25·18 mm. of Hg, calculate the relative humidity of the room.

| সংপৃক্ত বাষ্প | অসংপৃক্ত বাষ্প |
|---|---|
| 1. নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোন বাষ্প সর্বোচ্চ যে চাপ প্রয়োগ করতে পারে, বাষ্পের চাপ তার সমান হলে, তাকে সংপৃক্ত বাষ্প বলে। | 1. নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় কোন বাষ্প সর্বোচ্চ যে চাপ প্রয়োগ করতে পারে, বাষ্পের চাপ তার কম হলে, তাকে অসংপৃক্ত বাষ্প বলে। |
| 2. সংপৃক্ত বাষ্প—গ্যাসের সূত্র, অর্থাৎ, বয়েল এবং চার্লস সূত্র মেনে চলে না। | 2. অসংপৃক্ত বাষ্প—গ্যাসের সূত্র, অর্থাৎ, বয়েল এবং চার্লস সূত্র মেনে চলে। |

● **শিশিরাঙ্ক** ( *Dew Point* )

বায়ুতে যে-পরিমাণ জলীয় বাষ্প থাকে, সাধারণতঃ তা দ্বারা বায়ু সংপৃক্ত হয় না। একই চাপে বায়ুকে ধীরে ধীরে ঠাণ্ডা করলে বায়ু ক্রমশঃ সংপৃক্ত হতে থাকে। একটি নির্দিষ্ট উষ্ণতায় বায়ুতে অবস্থিত জলীয় বাষ্প শিশিরে পরিণত হয়। এই উষ্ণতাকেই শিশিরাঙ্ক বলে।

**সংজ্ঞা** ঃ যে-উষ্ণতায় বায়ুমণ্ডলের কোন নির্দিষ্ট আয়তনে বায়ু ( স্থির চাপে ) এর মধ্যে অবস্থিত জলীয় বাষ্প দ্বারা সংপৃক্ত হয়, সেই উষ্ণতাকেই শিশিরাঙ্ক বলে।

● **আপেক্ষিক আর্দ্রতা** ( *Relative Humidity* )

**সংজ্ঞা** ঃ কোন সময়ে বায়ুমণ্ডলের কোন নির্দিষ্ট আয়তনে অবস্থিত জলীয় বাষ্পের ভরের সঙ্গে সেই আয়তনের বায়ুকে একই উষ্ণতায় সংপৃক্ত করতে প্রয়োজনীয় জলীয় বাষ্পের ভরের অনুপাতকে, ঐ সময়ের আপেক্ষিক আর্দ্রতা বলে। অতএব,

$$\text{আপেক্ষিক আর্দ্রতা} = \frac{\text{কোন সময়ে নির্দিষ্ট আয়তন বায়ুতে জলীয় বাষ্পের ভর}}{\text{ঐ আয়তন বায়ুকে ঐ উষ্ণতায় সংপৃক্ত করতে প্রয়োজনীয় জলীয় বাষ্পের ভর}}$$

$$= \frac{\text{আলোচ্য সময়ে বায়ুমণ্ডলে অবস্থিত নির্দিষ্ট আয়তন জলীয় বাষ্পের ভর}}{\text{আলোচ্য সময়ে বায়ুমণ্ডলকে সংপৃক্ত করতে প্রয়োজনীয় জলীয় বাষ্পের ভর}}$$

$$= \frac{\text{আলোচ্য সময়ে শিশিরাঙ্কের সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ}}{\text{আলোচ্য সময়ে উষ্ণতার সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের ভর}}$$

যদি শিশিরাঙ্কের সম্পৃক্ত চাপ $f$ cm পারদের সমান হয় ও আলোচ্য সময়ের উষ্ণতায় সম্পৃক্ত বাষ্প-চাপ F cm পারদের সমান হয়, তাহলে,

$$\text{আপেক্ষিক আর্দ্রতা} = \frac{f}{F} \text{ ও শতকরা হিসাবে আপেক্ষিক আর্দ্রতা} = \frac{f}{F} \times 100\%.$$

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে,

25°C তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ = 23·75 mm.

26°C " " " " " = 25·18 mm.

1°C তাপমাত্রার পার্থক্যে চাপের পার্থক্য " = 1·43 mm.

·5°C " " " " " = ·715 mm.

অতএব, 25·5°C তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ = 23·75 + ·715
= 24·465 mm.

$$\text{আপেক্ষিক আর্দ্রতা} = \frac{\text{শিশিরাঙ্কে সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ}}{\text{বায়ু তাপমাত্রায় সম্পৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ}} \times 100\%$$

$$= \frac{10 \cdot 5}{24 \cdot 465} \times 100$$

$$= 42 \cdot 918\%$$

**40.** দুটি ঘরের তাপমাত্রা 35°C। দুটি ঘরের আপেক্ষিক আর্দ্রতা যথাক্রমে 30% এবং 70%. কোন্ ঘরটি তোমার কাছে আরামপ্রদ হবে, যুক্তি সহকারে ব্যাখ্যা কর।

[The temperatures of two rooms are 35°C. The relative humidities of the two rooms are 30% and 70%. In which room will you feel more comfortable ? Give reason of your answer.

দুটি ঘরের তাপমাত্রা 35°C.

আমরা জানি যে, $\frac{C}{5} = \frac{F-32}{9}$

বা, $\frac{35}{5} = \frac{F-32}{9}$

বা, $63 + 32 = F$

বা, $95^\circ = F$

∴ ঘর-দুটির তাপমাত্রা = 95°F.

আমরা জানি যে, মানবদেহের উষ্ণতা = 98·4°F. অতএব, ঘরের তাপমাত্রা মানবদেহের তাপমাত্রা অপেক্ষা কম। যে ঘরের আপেক্ষিক আর্দ্রতা 70%, সেই ঘরের জলীয় বাষ্পের পরিমাণ বেশী। এখানে বাষ্পায়নের হার অপেক্ষাকৃত কম। আমাদের দেহ থেকে ঘামের মাধ্যমে জলীয় বাষ্প বের হয়ে থাকে। দেহের ঘাম যত দ্রুত বাষ্পীভূত হবে, আমরা তত বেশী ঠাণ্ডা অনুভব করবো।

আবার, যে ঘরের আপেক্ষিক আর্দ্রতা 30%, সেই ঘরের বাষ্পায়নের হার অপেক্ষাকৃত দ্রুততর হবে। ফলে, 30% আপেক্ষিক-আর্দ্রতা-বিশিষ্ট ঘরে অপেক্ষাকৃত বেশী ঠাণ্ডা অনুভূত হবে এবং 70% আপেক্ষিক-আর্দ্রতা-বিশিষ্ট ঘরে অপেক্ষাকৃত বেশী উষ্ণতা অনুভূত হবে।

**41.** গ্যাস-গতি-তত্ত্বের অঙ্গীকারগুলি লেখ। আদর্শ গ্যাসের ক্ষেত্রে চাপের রাশিমালাটি লেখ। গ্যাস-গতিতত্ত্বের আলোকে গ্যাসের তাপমাত্রার ধারণার ব্যাখ্যা কর।

[ Write down the postulates of kinetic theory of gas. Write down the expression of pressure for an ideal gas. Explain the concept of temperature of gas in light of kinetic theory of gas ? ]

**● আদর্শ গ্যাসের গতি-তত্ত্বের মূল অঙ্গীকারসমূহ** ( *Fundamental Assumption in Kinetic Theory of Perfect or Ideal Gas*)

গ্যাসের গতিতত্ত্ব কয়েকটি অঙ্গীকারের উপর প্রতিষ্ঠিত। ক্লসিয়াস (Clausius) সর্বপ্রথম এই অঙ্গীকারগুলি বিবৃত করেন।

অঙ্গীকারগুলিকে দুই শ্রেণীতে ভাগ করা যেতে পারে ; যেমন—(i) গ্যাস-অণুর প্রকৃতি-সম্বন্ধীয় অঙ্গীকার এবং (ii) গ্যাস-অণুর গতি-সম্বন্ধীয় অঙ্গীকার।

(i) **গ্যাস-অণুর প্রকৃতি-সম্বন্ধীয় অঙ্গীকার ঃ**

(a) আদর্শ গ্যাসের অণুগুলি একই রকম এবং এরা বিন্দু-ভর (point mass) সম্পন্ন। এদের আকার অণুগুলির পারস্পরিক দূরত্বের তুলনায় অত্যন্ত কম। অর্থাৎ, গ্যাস ছোট বা বড়—যে-কোন পাত্রে রাখা যাক না কেন, অণুগুলির মোট আয়তন, পাত্রের আয়তনের তুলনায় নগণ্য।

(b) একটি আদর্শ (ideal) গ্যাসের অণুগুলি দৃঢ় এবং পূর্ণ স্থিতিস্থাপক গোলক এবং পরস্পরের প্রতি অথবা আধারের (container) দেওয়ালের প্রতি কোন আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল প্রয়োগ করে না। অণুগুলির মধ্যে পারস্পরিক বল না থাকায় এরা সরলরেখায় সমবেগে ছুটে চলে, যতক্ষণ পর্যন্ত না অন্য অণু বা পাত্রের দেওয়ালের সঙ্গে ধাক্কা খেয়ে এদের গতিপথ পরিবর্তিত হয়। গ্যাসের শক্তি সম্পূর্ণভাবেই গতিশক্তি।

(ii) **গ্যাস-অণুর গতি-সম্বন্ধীয় অঙ্গীকার ঃ**

(a) আদর্শ গ্যাসের অণুগুলি ক্রমাগত পরস্পরের সঙ্গে এবং আধারের দেওয়ালের সঙ্গে ধাক্কা খায়। একমাত্র এই ধাক্কার সময়ই অণুগুলি বল অনুভব করে। পর পর দুটি ধাক্কার মধ্যবর্তী দূরত্বকে **মুক্ত-পথ** (free path) বলে। একটি ধাক্কা লাগতে যে-সময় লাগে, সেটা মুক্ত পথ অতিক্রম করবার জন্য প্রয়োজনীয় সময়ের চেয়ে অনেক কম। অর্থাৎ, ধাক্কাগুলি সদ্যঃপাতী (instantaneous).

(b) একটি আদর্শ গ্যাসের অণুগুলি অক্রম (random) গতিতে সর্বদা চারদিকে ছুটছে। তাত্ত্বিক দিক থেকে এদের বেগ শূন্য থেকে অসীম (infinity) পর্যন্ত হতে পারে। উষ্ণতা-বৃদ্ধির সঙ্গে এই বেগ বাড়ে।

(c) আদর্শ গ্যাস যে-আধারে থাকে, সেই আধারের মধ্যে অণুগুলি সমানভাবে বণ্টিত (uniformly distributed) থাকে। এই অণুগুলির বেগ সর্বদিকে সমান সম্ভাবনাময় (equally probable)। যদিও অণুগুলির বেগ শূন্য থেকে অসীম

পর্যন্ত যা খুশী হতে পারে, তবুও স্থিরাবস্থায় ( অর্থাৎ, যখন গ্যাসের সর্বত্র চাপ, ঘনত্ব, উষ্ণতা ইত্যাদির কোন পরিবর্তন নেই ) সময়ের গড় হিসাবে, একটি নির্দিষ্ট বেগ-সম্পন্ন অণুর সংখ্যা সর্বদাই সমান।

(d) আদর্শ গ্যাসের আণবিক ঘনত্ব (molecular density) ধ্রুবক। অর্থাৎ, এক ঘন-আয়তনে নির্দিষ্ট সংখ্যক অণু থাকবে।

● **গ্যাসের গতি-তত্ত্ব অনুসারে চাপের রাশিমালা** (*Expression of Pressure of Kinetic theory of Gas*)

গ্যাসের গতি-তত্ত্ব অনুযায়ী গ্যাসীয় অণুগুলি সর্বদাই আধারের মধ্যে গতিশীল এবং এরা পরস্পরের সঙ্গে ও আধারের দেওয়ালের সঙ্গে সর্বদাই ধাক্কা খাচ্ছে। পাত্রের দেওয়ালের সঙ্গে ধাক্কা খাওয়ার পর এদের গতির অভিমুখ পরিবর্তিত হয়। এর ফলে, এদের ভরবেগের পরিবর্তনের হার, নিউটনের দ্বিতীয় গতিসূত্রানুযায়ী, দেওয়ালে উদ্ভূত বলের সঙ্গে সমান। প্রতি একক ক্ষেত্রে এই বলের মানই হ'ল গ্যাসের চাপ।

ধরা যাক, কোন গ্যাসের আয়তন $= V$, চাপ $= P$ এবং এর অণুর সংখ্যা $= N$, প্রতিটি অণুর ভর $= m$, তাহলে গতি-তত্ত্ব থেকে প্রমাণ করা যেতে পারে যে,

$$PV = \frac{1}{3} mNc^2 \quad (1)$$

বা, $$P = \frac{1}{3} \frac{mN}{V} c^2$$

$$\therefore P = \frac{1}{3} \rho c^2 \quad (2)$$

$$\left[ \because \frac{mN}{V} = \frac{\text{গ্যাসের মোট ভর } M}{\text{গ্যাসের মোট আয়তন } V} = \rho \text{ ( গ্যাসের ঘনত্ব )} \right]$$

● **গতি-তত্ত্বের সাহায্যে উষ্ণতার ব্যাখ্যা** ( *Kinetic Interpretation of Temperature*)

গতি-তত্ত্বের বিভিন্ন অঙ্গীকারগুলির মধ্যে বলা হয়েছে যে, গ্যাসের অণুগুলি সর্বদা এদিক-ওদিক সঞ্চরণশীল এবং আদর্শ গ্যাসের অণুগুলির ভিতর কোন পারস্পরিক আকর্ষণ নেই। গতি-তত্ত্ব থেকে গণনা ক'রে আমরা পেয়েছি,

প্রতি অণুর গড় গতিশক্তি $= \frac{3}{2}$ K.T.

পারস্পরিক আকর্ষণ না থাকায়, অণুগুলির স্থিতিশক্তি শূন্য। তাহলে, মোট শক্তির পরিমাণ—গতিশক্তির সমান। আবার, গতিশক্তি—উষ্ণতার আনুপাতিক। অর্থাৎ, গতিশক্তি বাড়লে উষ্ণতা বাড়বে এবং গতিশক্তি কমলে উষ্ণতা কমবে।

গতিশক্তি অনুযায়ী, এই হচ্ছে উষ্ণতার ব্যাখ্যা।

যখন $T = 0°K$, তখন গতিশক্তিও শূন্য ; অর্থাৎ, $0°K$ উষ্ণতায় গ্যাস-অণুগুলি স্থির হয়ে যাবে। এই উষ্ণতাকে চরম বা পরম (absolute) উষ্ণতা বলা যায়।

42. গ্যাসের গতি-তত্ত্ব থেকে বয়েল সূত্র এবং চার্লস্ সূত্র কিভাবে পাওয়া যায়, তাহা ব্যাখ্যা কর।

[ How will you obtain Charle's law and Boyle's law from kinetic theory of gas ? ]

(1) **বয়েল-এর সূত্র** (Boyle's law) : গ্যাসের গতি-তত্ত্ব থেকে আমরা পাই,

$$PV = \frac{1}{3}mNc^2 = \frac{1}{2}Mc^2.$$

উষ্ণতা স্থির থাকলে, কোন গ্যাসের অণুগুলির গড় বর্গ-বেগ নির্দিষ্ট (fixed) হয়। কাজেই, স্থির ভরের (M) গ্যাসের ক্ষেত্রে, উষ্ণতা স্থির থাকলে, $\frac{1}{3}Mc^2$ অপরিবর্তিত থাকবে। আবার, $PV = \frac{1}{3}Mc^2$ ব'লে, নির্দিষ্ট উষ্ণতায় নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের চাপ P ও আয়তন V-এর গুণফল সর্বদাই ধ্রুবক হবে। একেই বয়েল-এর সূত্র বলে।

(2) **চার্লস্-এর সূত্র** ( Charles' law ) : $V \propto T$—এটিই চার্লস্-এর সূত্র।

গতি-তত্ত্ব থেকে আমরা জেনেছি যে, গ্যাস-অণুর গতিশক্তি, তাপমাত্রা দ্বারা নির্ধারিত হয়ে থাকে এবং এরা পরস্পরের সমানুপাতিক। এইজন্য লেখা যেতে পারে,

$$\frac{1}{2}Mc^2 \propto T$$

বা, $\frac{1}{2}Mc^2 = kT$ [ এখানে $k$ একটি ধ্রুবক ]

তাহলে, $PV = \frac{1}{3}Mc^2 = \frac{2}{3}.\frac{1}{2}Mc^2 = \frac{2}{3}kT$

বা, $$V = \frac{2k}{3P} \times T$$

চাপ নির্দিষ্ট হলে, $\frac{2k}{3P}$ ধ্রুবক হবে। অর্থাৎ, $V \propto T$—এটিই চার্লস্-এর সূত্র।

43. তাপ-সঞ্চালনের বিভিন্ন পদ্ধতিগুলি লেখ। এই পদ্ধতিগুলির মধ্যে পার্থক্য কি?

তাপ-পরিবাহিতাঙ্ক এবং তাপ-ব্যাপনতা কাকে বলে ? ইহাদের মধ্যে সম্পর্ক কি ?

[ Mention different methods for the transference of heat. What are the difference between these methods.

Define co-efficient of thermal conductivity, thermometric conductivity and how are they related. ]

● **তাপ-সঞ্চালনের বিভিন্ন পদ্ধতি** (*Different Methods of Transmission of Heat*)

তিন রকম পদ্ধতিতে তাপ-সঞ্চালন হয়ে থাকে ; যথা—**পরিবহণ** (Conduction), **পরিচলন** (Convection) ও **বিকিরণ** (Radiation)।

**পরিবহণ**

**সংজ্ঞা :** যে-পদ্ধতিতে তাপ, পদার্থের মধ্য দিয়ে উষ্ণতর অংশ থেকে শীতলতর অংশে সঞ্চালিত হয়, কিন্তু পদার্থের অণুগুলির দৃশ্যতঃ কোন স্থান-পরিবর্তন হয় না, সেই পদ্ধতিকে পরিবহণ বলে।

পরিচলন

**সংজ্ঞা ঃ** যে-প্রণালীতে তাপ, কোন পদার্থের অণুসমূহের সঞ্চরণ দ্বারা উষ্ণতর স্থান থেকে শীতলতর স্থানে সঞ্চারিত হয়, সেই প্রণালীকে **পরিচলন** বলে।

বিকিরণ

**সংজ্ঞা ঃ** যে-প্রণালীতে তাপ, উষ্ণ বস্তু থেকে শীতল বস্তুতে যেতে মধ্যবর্তী মাধ্যমকে কার্যতঃ উষ্ণ করে না, তাপ-সঞ্চালনের সেই প্রণালীকে **বিকিরণ** বলা হয়।

● **পরিবহণ, পরিচলন ও বিকিরণের তুলনা** (*Comparison between Conduction, Convection and Radiation*)

(i) বিকিরণ আলোর বেগে ( অর্থাৎ, প্রায় 1,86,000 মাইল বা $3 \times 10^{10}$ সেণ্টিমিটার প্রতি সেকেণ্ডে ) হয়ে থাকে। এর তুলনায় পরিবহণ ও পরিচলন অত্যন্ত ধীরে হয়।

(ii) বিশেষ বিশেষ পদার্থের ক্ষেত্রে উত্তপ্ত বস্তু থেকে তাপের পরিবহণ সমস্ত দিকেই হয়ে থাকে। তাপের বিকিরণ যে-কোন উত্তপ্ত বস্তুর চারদিকে সরলরৈখিক পথে হয়ে থাকে। কিন্তু পরিচলন স্রোতে কেবল উত্তপ্ত পদার্থ, শীতল পদার্থের দিকে সঞ্চালিত হয়ে থাকে।

(iii) বিকিরণের জন্য কোন মাধ্যম না হলেও চলে, কিন্তু পরিবহণ ও পরিচলনের জন্য মাধ্যমের প্রয়োজন হয় এবং এই দুই প্রক্রিয়া ঘটবার সময় মাধ্যমের উষ্ণতা বদলিয়ে যায়। বিকিরণের ক্ষেত্রে মাধ্যমের উষ্ণতার কোন পরিবর্তন প্রায় হয় না।

(iv) পরিবহণ-প্রণালীতে কোন বস্তু-কণা স্থান-পরিবর্তন করে না। পরিচলন-পদ্ধতিতে বস্তু-কণার স্থান-পরিবর্তন হয়ে থাকে। বিকিরণের ক্ষেত্রে, তরঙ্গাকারে তাপ—উষ্ণ স্থান থেকে শীতল স্থানে সঞ্চালিত হতে থাকে।

● **তাপ-পরিবাহিতাঙ্ক** (*Thermal Conductivity*)

*abgc* একটি ঘনক (fig. 49)। এর *ab* পৃষ্ঠ থেকে *cg* পৃষ্ঠের দিকে লম্বভাবে কি-পরিমাণ তাপ প্রবাহিত হবে, সেটি (1) উভয় পৃষ্ঠের উষ্ণতা, (2) এদের দূরত্ব, (3) যে ক্ষেত্র দিয়ে তাপ যাবে, তার ক্ষেত্রফল এবং (4) যে-সময় ধ'রে তাপ পরিবাহিত হয়—এই কয়টি রাশির উপর নির্ভর করে।

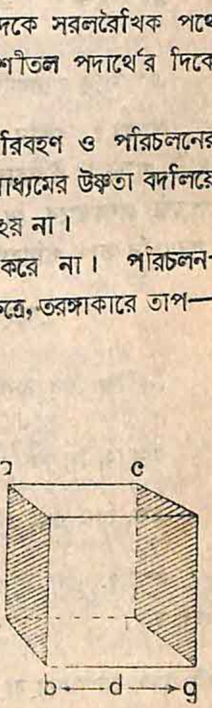



Fig. 49

ধরা যাক, *ab* তলের উষ্ণতা $T_1$ ও *cg* তলের উষ্ণতা $T_2$. উভয়ের মধ্যে দূরত্ব *d* এবং যে-কোন তলের ক্ষেত্রফল $A_1$. $T_1 > T_2$ হলে, *ab* তল থেকে *cg* তল অভিমুখে তাপ প্রবাহিত হবে। পরীক্ষা ক'রে দেখা গিয়েছে যে, পরিবাহিত তাপ Q হলে, সেই তাপ—ক্ষেত্রফল, সময় ও

উষ্ণতার পার্থক্যের সমানুপাতিক এবং উভয়ের মধ্যেকার দূরত্বের ব্যস্তানুপাতিক। অর্থাৎ,

$$Q \propto (T_1 - T_2) \quad [\text{যখন } A, t, d \text{ ধ্রুবক}]$$
$$\propto A \quad [\text{যখন } T_1, T_2, t, d \text{ ধ্রুবক}]$$
$$\propto t \quad [\text{যখন } T_1, T_2, A, d \text{ ধ্রুবক}]$$
$$\propto \frac{1}{d} \quad [\text{যখন } T_1, T_2, A, t \text{ ধ্রুবক}]$$

যখন প্রত্যেকটি রাশি পরিবর্তনশীল, তখন $Q \propto \frac{A(T_1 - T_2)}{d}$

$$\text{বা,} \quad Q = K.\frac{A(T_1 - T_2)t}{d} \quad (1)$$

K একটি ধ্রুবক; এর মান কি-রকম হবে, সেটি পদার্থের প্রকৃতির উপর নির্ভর করে। একে তাপ-পরিবাহিতাঙ্ক (thermal conductivity) বলে। যে পদার্থের K বেশী, সেই পদার্থের ভিতর দিয়ে তত বেশী পরিমাণ তাপ পরিবাহিত হয়।

যখন $A = 1, d = 1, (T_1 - T_2) = 1$, তখন

$$Q = K. \quad [(1)\text{-নং সমীকরণ থেকে}]$$

এর থেকে পরিবাহিতাঙ্কের সংজ্ঞা দেওয়া যায়।

**সংজ্ঞা ঃ কোন পদার্থের একক দৈর্ঘ্য বাহু-বিশিষ্ট একটি ঘনক নিয়ে যদি তার দুই পৃষ্ঠে 1° উষ্ণতার ব্যবধানে রাখা হয়, তবে প্রতি সেকেণ্ডে এর পৃষ্ঠ থেকে অপর পৃষ্ঠে লম্বভাবে যে-পরিমাণ তাপ পরিবহণ-পদ্ধতিতে সঞ্চালিত হয়, তাকে ঐ পদার্থের তাপ-পরিবাহিতাঙ্ক বলে।**

$$\text{যেহেতু,} \quad K = \frac{Q.d}{A(T_1 - T_2)t}\text{; সেহেতু,}$$

$$\text{সি. জি. এস. এককে } K = \frac{\text{ক্যালরি} \times \text{সেমি.}}{\text{বর্গ-সেমি.} \times \text{ডিগ্রী সে.} \times \text{সেকেণ্ড}};$$

অর্থাৎ, সি. জি. এস. এককে তাপ-পরিবাহিতাঙ্ক cal/cm/°C/sec-এ প্রকাশ করা হয়।

$$\text{এফ. পি. এস. এককে } K = \frac{\text{বৃটিশ থার্মাল একক} \times \text{ফুট}}{\text{বর্গ-ফুট} \times \text{ডিগ্রী ফাঃ} \times \text{সেকেণ্ড}};$$

অর্থাৎ, এফ. পি. এস. এককে তাপ-পরিবাহিতাঙ্ক B. th. u./°F/sec-এ প্রকাশ করা হয়।

## ● তাপ-ব্যাপনতা বা তাপমাত্রিক পরিবাহিতা ( *Thermometric Conductivity* )

**সংজ্ঞা ঃ** কোন পদার্থের তাপ-পরিবাহিতাঙ্ক এবং একক আয়তনের তাপ গ্রাহিতার অনুপাতকে তাপ-ব্যাপনতা বা তাপমাত্রিক পরিবাহিতা বলে। ইহাকে $h$ দ্বারা সূচিত করা হয়।

অতএব, তাপ-ব্যাপনতা বা তাপমাত্রিক পরিবাহিতা

$$h = \frac{\text{তাপ-পরিবাহিতাংক}}{\text{একক আয়তনের তাপগ্রাহিতা}}$$

$$\text{বা,} \quad h = \frac{K}{\rho s} \qquad (1)$$

যেখানে $K$ = তাপ-পরিবাহিতাংক, $\rho$ = ঘনত্ব, $s$ = আপেক্ষিক তাপ।

1-নং সমীকরণটি হ'ল তাপ-পরিবাহিতাঙ্ক এবং তাপ-ব্যাপনতার মধ্যে সম্পর্কযুক্ত সমীকরণ।

**44.** চিত্র-সহযোগে একটি থার্মোফ্লাস্কের বর্ণনা এবং ইহার কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর। [Describe a thermoflask with diagram and explain its action.]

● **থার্মোফ্লাস্ক** ( *Thermoflask* )

থার্মোফ্লাস্কে কোন গরম তরল রাখলে বহুক্ষণ গরম থাকে, আবার কোন শীতল তরল রাখলে অনেকক্ষণ শীতল থাকে।

**গঠন ঃ** থার্মোফ্লাস্কের একটি চিত্র দেওয়া হ'ল ( fig. 50 )।

পাত্রটি দু'পর্দা-যুক্ত কাচের নির্মিত এবং কাচের পর্দা-দুটির মধ্যবর্তী স্থান বায়ুশূন্য রাখা হয়।

কাচের উপরে রুপোর পাতলা প্রলেপ দেওয়া থাকে। সমগ্র পাত্রটিকে ফেল্ট বা তাপ-অন্তরক পদার্থে জড়িয়ে ধাতব পাত্রের ভিতরে বসানো হয়ে থাকে।

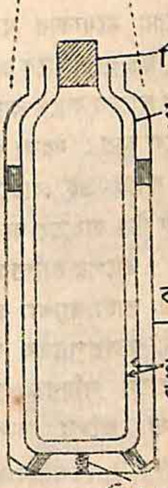


Fig. 50

**কার্যপ্রণালী ঃ** থার্মোফ্লাস্কে গরম তরল রাখলে উক্ত তরল থেকে তাপ পরিবহণ-পদ্ধতিতে বাইরে আসতে পারে না। কারণ, পাত্রের গায়ে কুপরিবাহী পদার্থ জড়িয়ে রাখা হয়। আবার, দুটি কাচের মধ্যেকার স্থান বায়ুশূন্য থাকে ব'লে তাপ পরিচলন-পদ্ধতিতে বাইরে আসতে পারে না। কাচের গায়ে রুপোর প্রলেপ থাকায় বিকীর্ণ তাপ প্রতিফলিত হয়ে ভিতরে ফিরে যায়। থার্মোফ্লাস্কে পরিবহণ, পরিচলন এবং বিকিরণ পদ্ধতি দ্বারা তাপক্ষয় রোধ করা হয়ে থাকে।

ঠিক একই ভাবে শীতল তরল পদার্থ অনেকক্ষণ ফ্লাস্কে শীতল থাকে। তরল নাইট্রোজেন থার্মোফ্লাস্কে রাখলে অনেকক্ষণ তরল অবস্থায় থাকতে পারে। কোন পদার্থকে নাইট্রোজেনে ডুবিয়ে রেখে উহার ধর্ম পরীক্ষা করা যেতে পারে। এই ধরনের

ফ্লাস্ককে ডেওয়ার (Dewar) ফ্লাস্ক বলা হয়। বিজ্ঞানী ডেওয়ার, তরল বায়ুর সংরক্ষণের নিমিত্ত এই ফ্লাস্ক উদ্ভাবন করেছিলেন।

**45.** একটি কাঠের ব্লক ও একটি ধাতব ব্লক একটি ঘরের মধ্যে রাখা আছে। এগুলিকে স্পর্শ করলে সমান উষ্ণ বা সমান শীতল ব'লে মনে হয় কেন? কারণ-সহ ব্যাখ্যা কর।

[A block of wood and a block of metal are placed in a room. Will you feel equally hot or cold if you touch them. Explain your answer.]

কোন ব্লকের তাপমাত্রা, মানবদেহের তাপমাত্রার সমান হলে উক্ত ব্লকটিকে স্পর্শ করলে ঐ ব্লক থেকে দেহে বা দেহ থেকে ঐ ব্লকে কোনরূপ তাপের আদান-প্রদান ঘটে না।

সুতরাং, কাঠের ব্লকের তাপমাত্রা এবং ধাতব ব্লকের তাপমাত্রা—মানবদেহের তাপমাত্রার সমান হলে, ঐ ব্লক-দুটিকে স্পর্শ করলে উহাদিগকে সমান শীতল বা সমান উষ্ণ ব'লে মনে হবে।

**46.** একটি ঘরের বায়ুরন্ধ্র ঘরের ছাদের কাছে থাকে কেন—ব্যাখ্যা কর।

[Explain why ventelators of a room are near the roof of a room.]

একটি ঘরের মধ্যেকার বায়ু লোকের নিঃশ্বাস-প্রশ্বাসের ফলে বা আগুন জেবলে রাখার ফলে দূষিত হয়ে থাকে। এই দূষিত এবং উত্তপ্ত বায়ু হালকা হয়ে ওপরে উঠতে থাকে। ঘরের ছাদের কাছে বায়ুরন্ধ্র থাকে ব'লে এই দূষিত এবং উত্তপ্ত বায়ু বায়ুরন্ধ্র দিয়ে বাইরে চলে যায়। দরজা ও জানালা দিয়ে বাইরের বিশুদ্ধ বায়ু ঘরে প্রবেশ করে। ঘরের ছাদের কাছে এই বায়ুরন্ধ্র না থাকলে, দূষিত এবং উত্তপ্ত বায়ু বাইরে যেতে পারতো না এবং উক্ত বায়ুতে ঘরের লোকের স্বাস্থ্যের ক্ষতি হ'ত।

**47.** (ক) তাপের যান্ত্রিক তুল্যাংক কাকে বলে? কিভাবে ইহাকে পরীক্ষাগারে নির্ণয় করা যায়, তাহা ব্যাখ্যা কর।

(খ) একটি জলপ্রপাতের উচ্চতা 150 মিটার। যদি উহার শীর্ষদেশের স্থিতি-শক্তির 80% তাপে পরিণত হয়ে জলে শোষিত হয়, তবে জলপ্রপাতের শীর্ষ এবং তলদেশের মধ্যে জলের তাপমাত্রা-বৃদ্ধি কত হবে? ($J = 4{\cdot}2$ Joules/Cal, $g = 980$ cm/sec$^2$)

[(a) What do you mean by mechanical equivalent of heat? How can it be experimentally determined?

(b) The height of a water-falls is 150 metres. What will be the difference of temperature of water at the top and bottom of the falls if 80% of the potential energy at the top be transferred to heat and the produced heat be fully in water. [$J = 4{\cdot}2$ Joules/Cal. $g = 980$ cm/sec$^2$]

● **তাপের যান্ত্রিক তুল্যাংক** ( *Mechanical Equivalent of Heat* )

1847 খ্রীষ্টাব্দে **জেম্স প্রেসকট্ জুল** (James Prescot Joule) তাপ-সম্বন্ধীয় পরীক্ষা-নিরীক্ষা করতে করতে পরপৃষ্ঠায় প্রদত্ত সিদ্ধান্তে আসেন।

যখনই কোন কাজের ফলে তাপ উৎপন্ন হয় বা তাপ-প্রদানে কাজ হয়ে থাকে, তখন তারা পরস্পরের আনুপাতিক হয়ে থাকে।

একে **জুল-এর সূত্র** (Joule's law) বা **তাপ-গতিবিদ্যার প্রথম সূত্র** (first law of thermodynamics) বলা হয়।

যদি W-পরিমাণ কাজ দ্বারা H-পরিমাণ তাপ উৎপন্ন হয়, তাহলে জুল-এর সূত্রানুযায়ী, $W \propto H$

$$\text{বা,}\quad W = JH \quad \text{বা,}\quad \frac{W}{H} = J \qquad [\ J \text{ একটি ধ্রুবক}\ ]$$

এই ধ্রুবকটিকে তাপের **যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক** (mechanical equivalent of heat) বা তাপের **জুল-তুল্যাঙ্ক** (Joule's equivalent of heat) বলা হয়।

যদি কোন কাজে **এক একক তাপ** উৎপন্ন হয়, তাহলে,

$$W = J. \qquad [\ H = 1 \text{ ব'লে}\ ]$$

**অতএব, যান্ত্রিক তুল্যাঙ্কের সংজ্ঞা হিসাবে বলা যায় যে, একক তাপ উৎপন্ন করতে যে-পরিমাণ কাজ করা হয়, সেটিই তাপের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক।**

● **জুল-এর ক্যালরিমিটারের সাহায্যে J-এর মান নির্ণয়** (*Determination of J by Joule's Calorimeter*)

যখন কোন কাজ তাপে পরিণত হয়, তখন অন্যভাবে শক্তি ব্যয়িত না হলে, উৎপন্ন তাপ এবং রূপান্তরিত কাজের অনুপাত সর্বদা ধ্রুবক হয়—এই তত্ত্ব বৈজ্ঞানিক জুল সর্বপ্রথম আবিষ্কার করেন। এই ধ্রুবকই হ'ল 'J'। নিচে বর্ণিত উপায়ে পরীক্ষা ক'রে J-এর মান নির্ণয় করা যেতে পারে।

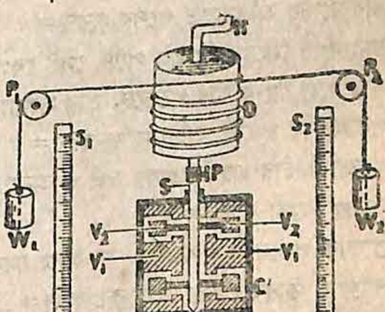


Fig. 51

পাশের চিত্রে (fig. 51) C—একটি তামার ক্যালরিমিটার। ক্যালরিমিটারটির মধ্যে জানা ওজনের কিছু পরিমাণ জল নেওয়া হয়। একটি সুবেদী থার্মোমিটারের সাহায্যে জলের উষ্ণতা দেখা হয় (থার্মোমিটার চিত্রে দেখানো হয়নি)।

ক্যালরিমিটারের গায়ে কয়েকটি পাত ($V_1$) পরস্পর সমকোণে আটকানো থাকে। ক্যালরিমিটারের অক্ষ-বরাবর একটি দণ্ড S থাকে। এই দণ্ডের গায়ে কয়েকটি পাত ($V_2$) এমনভাবে আবদ্ধ থাকে যে, S-দণ্ডটি ঘুরলে, $V_2$-এর পাতগুলি $V_1$-এর পাতাগুলির ফাঁকে ফাঁকে ঘুরতে পারে। P-পিনের সাহায্যে S-দণ্ডের সঙ্গে D-ড্রামটি যুক্ত করা হয়। ড্রামটির আকার চোঙের মতো। P-পিনের সাহায্যেই D-ড্রামটি S-দণ্ডের সঙ্গে যুক্ত অথবা ছিন্ন করা যেতে পারে। এর ড্রামের গায়ে দু'গাছা সুতো একই দিক থেকে জড়িয়ে উপরের দিকে তোলা হয়।

পর সুতো-দু'গাছা ড্রামের দিক থেকে বার ক'রে দুটি পুলির মধ্যে দিয়ে সুতোর প্রান্তদ্বয়ে দুটি সমান ভারের ($W_1$ ও $W_2$) বাটখারা চাপানো হয়। ক্যালরিমিটারটি কয়েকটি ছুঁচালো ফেল্টের (F, F) উপরে বসানো থাকে। $S_1$ ও $S_2$—দুটি অংশাঙ্কিত স্কেল $W_1$ ও $W_2$ ভারের পাশে খাড়াভাবে থাকে। এই স্কেলদ্বয় থেকে $W_1$ ও $W_2$ ভার কতটা দূরত্ব নামলো বা উঠলো, তা জানা যায়।

ভার-দুটি প্রথমে একটি নির্দিষ্ট দূরত্ব $h$ থেকে মাটিতে ফেলা হয়। ভার-দুটি নিচে নামার সঙ্গে সঙ্গে S-দণ্ডটি ঘুরতে থাকে। S-দণ্ডটির ঘূর্ণনের ফলে ক্যালরিমিটারের ভিতরের জলের মধ্যে আলোড়নের সৃষ্টি হবে। কিন্তু জলের এই আলোড়নকে $V_1$-পাতসমূহ বাধা দিতে চেষ্টা করে। ফলে, জলের গতিশক্তি—তাপশক্তিতে বদলে যাবে।

ভার-দুটি নিচে পেঁছোলে পিন খুলে S-দণ্ড থেকে ড্রামকে পৃথক করা হয়। ড্রাম-সংলগ্ন H হাতল ঘুরিয়ে ভার-দুটিকে এদের আগের অবস্থানে তোলা হয়। ড্রামটিকে আবার পিনের সাহায্যে দণ্ডের সঙ্গে আটকিয়ে ভার-দুটিকে পুনরায় $h$ উচ্চতা থেকে নিচে ফেলা হয়।

ভার-দুটি যতবার নিচে ফেলা হয়, ততবারই ক্যালরিমিটারের জল আলোড়িত হয়; আর, গতিশক্তি—তাপশক্তিতে রূপান্তরিত হয়। এইভাবে ভার-দুটিকে কয়েকবার ফেলে, জলের চূড়ান্ত উষ্ণতা দেখে জলের প্রাথমিক ও চূড়ান্ত উষ্ণতা থেকে জলের উষ্ণতা-বৃদ্ধি T লিপিবদ্ধ করা হয়। ধরা যাক,

$W_1$ ও $W_2$-এর প্রত্যেকের ভর $= M$

ভার-দুটির অতিক্রান্ত পথের দূরত্ব $= h$

ভার-দুটি নিচে যে-বেগে পড়ে, সেই বেগ $= V$

ভার-দুটি যে-ক'বার পড়েছে, তার সংখ্যা $= n$

পরীক্ষণীয় স্থানের অভিকর্ষজ ত্বরণ $= g$

ক্যালরিমিটার-এর ভিতরের জল ও অন্যান্য দ্রব্যের জল-সম $= \theta$

জলের উষ্ণতা-বৃদ্ধি $= T$

প্রত্যেক পতনে $W_1$ বা $W_2$ যে-কাজ করে $= M.g.h$

সুতরাং, ভারদ্বয় দ্বারা মোট কৃত-কাজ $= 2Mgh$

$n$-বার পতনে ভারদ্বয় দ্বারা মোট কৃত-কাজ $= 2nMgh$

ভারদ্বয় একবার নিচে এলে, এদের মোট গতিশক্তি $= 2.\frac{1}{2}MV^2 = MV^2$

ভারদ্বয় $n$-বার নিচে এলে, এদের মোট গতিশক্তি $= nMV^2$

$n$-বার নিচে পড়বার সময় যে-শক্তি খরচ হয় $= n(2Mgh - MV^2)$

উৎপন্ন তাপের পরিমাণ $= \theta T$

$$J = \frac{\text{রূপান্তরিত শক্তি}}{\text{উৎপন্ন তাপ}} = \frac{n(2Mgh - MV^2)}{\theta T}$$

এই সমীকরণ থেকে J-এর মান নির্ণয় করা যায়। নির্ণেয় J-এর মান $= 4{\cdot}2$ Joule/Calorie। এ থেকে জানা যায় যে, 4·2 জুল কাজ এক ক্যালরি তাপের তুল্যাঙ্ক।

● **জুল-এর পরীক্ষায় প্রয়োজনীয় সতর্কতা** (*Precaution in Joule's Experiment*)

জুল ধ'রে নিয়েছিলেন যে, বিভিন্ন উষ্ণতাতে জলের আপেক্ষিক তাপ সমান। কিন্তু এটি সত্য নয়। এ ছাড়া, জুল-ব্যবহৃত থার্মোমিটার ত্রুটিপূর্ণ ছিল ও চূড়ান্ত উষ্ণতা-বৃদ্ধি খুব অল্পই হয়েছিল। এইসব ত্রুটি ছাড়া, আরও কয়েকটি বিষয়ে সংশোধনের প্রয়োজন। যথা—ভার-দুটির ($W_1$ ও $W_2$) মাটিতে পড়াকালীন গতিশক্তি, সংযোগস্থলে ঘর্ষণের জন্য, ঘূর্ণায়মান ড্রামটির কম্পনের জন্য, গতিশক্তি-জনিত ত্রুটি ইত্যাদি।

জুল পরীক্ষার সাহায্যে J-এর মান 773·4 ফুট-পাউন্ড/ব্রিটিশ থার্মাল একক পেয়েছিলেন। কিন্তু পরবর্তী অনুসন্ধান থেকে J-এর সঠিক মান 778 ফুট-পাউন্ড/ব্রিটিশ থার্মাল একক পাওয়া গেছে। এটিই বর্তমানে J-এর স্বীকৃত মান।

(খ) প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে,

জল কর্তৃক কৃত কার্য $W = mgh$

$$= m \times 980 \times 150 \times 100$$

যেখানে $m$ = যে-কোন মুহূর্তে পড়ন্ত জলের ভর।

যে-শক্তি তাপে পরিণত হয়েছে, তার পরিমাণ $= \frac{80}{100} \times W$

$$= \frac{80}{100} \times m \times 980 \times 150 \times 100$$

উৎপন্ন তাপ $H = ms(\theta_2 - \theta_1)$

$$= m \times 1(\theta_2 - \theta_1)$$

তাপ-গতিবিদ্যার প্রথম সূত্র থেকে আমরা জানি,

$$W = JH$$

বা, $\frac{80}{100} \times m \times 980 \times 150 \times 100 = 4{\cdot}2 \times 10^7 \times m \times (\theta_2 - \theta_1)$

বা, $(\theta_2 - \theta_1) = \frac{80 \times 980 \times 150 \times 100}{4{\cdot}2 \times 10^9}$

$$= \frac{98 \times 12 \times 10^7}{42 \times 10^9}$$

$$= \frac{98 \times 12}{42 \times 100} = \frac{1176}{4200} = {\cdot}28$$

∴ নির্ণেয় তাপমাত্রার পার্থক্য $= {\cdot}28°C$.

যদি P থেকে YY′ ব্যাসের উপর লম্ব টানা যায়, তবে YY′ বরাবর পাদবিন্দুর সরণের সমীকরণ $y = a \sin \omega t = a \sin 2\pi nt$, [3(a)]

অর্থাৎ, পাদবিন্দুর সরণ বা সরল-দোলগতি-সম্পন্ন কণার সরণ

$$= a \cos \omega t = a \cos 2\pi nt$$

কিংবা $$= a \sin \omega t = a \sin 2\pi nt \quad (4)$$

এই আলোচনা থেকে সহজেই বলা যায় যে, সরল-দোলগতি-সম্পন্ন কণার সরণ সময়ের সঙ্গে সাইন-বক্র (sine curve) অনুযায়ী পরিবর্তিত হয়। উল্লেখযোগ্য যে, কণাটি দক্ষিণাবর্তে চললেও, একইভাবে সরণকে প্রকাশ করা যেতে পারে।

সরল দোলগতির সর্বার্থক সমীকরণ (general equation) নির্ণয় করতে হলে, মনে করি, শুরুতে ($t = 0$)-কণা A-বিন্দুতে অবস্থান করে (fig. 54)। O-বিন্দু থেকে

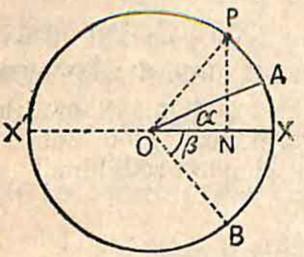


Fig. 54

এইক্ষেত্রে N-পাদবিন্দুর সরণ, $x = \text{OP} \cos \text{PON} = a \cos (\angle \text{XOA} + \angle \text{AOF})$

বা, $$x = a \cos (\theta + \alpha) = a \cos(\omega t + \alpha) \quad (5)$$

আবার, শুরুতে কণা B-বিন্দুতে অবস্থান করলে এবং সেখান থেকে বামাবর্তে ঘুরে P-বিন্দুতে এলে কণার সরণ

$$x = a \cos \text{PON}$$
$$= a \cos (\theta - \beta) = a \cos (\omega t - \beta) \quad (6)$$

এখানে α, β, X বিন্দুর সাপেক্ষে A ও B বিন্দুর কৌণিক সরণ সূচিত করে। XX′ ব্যাসের উপর P-এর সমবৃত্ত গতির অভিক্ষেপ সরল দোলন ব'লে, উপরের (4), (5) ও (6) সমীকরণগুলির প্রত্যেকটি একই সরল দোলন বোঝায়, পার্থক্য কেবল ঘূর্ণনের শুরুতে কণার অবস্থানের। (5) ও (6) সমীকরণের যে-কোন একটিকে সরল দোলগতির সর্বার্থক সমীকরণ হিসাবে গণ্য করা হয়।

আমরা সাধারণভাবে (4) সমীকরণটি সরল দোলনে কণার সরণের জন্য ব্যবহার ক'রে থাকি।

## ● সরল দোলকের গতি হ'ল সরল দোলগতি ( *Motion of a Simple Pendulum is Simple Harmonic* )

কোন সরল দোলকের গতি হ'ল সরল দোলগতি। কারণ, সরল দোলগতির জন্য প্রয়োজনীয় শর্তাবলী, এই সরল দোলকও মেনে চলে।

ধরা যাক, OA কোন দোলকের স্বাভাবিক অবস্থান বোঝাচ্ছে। O হ'ল স্থির অবলম্বন। দোলক-দণ্ডটিকে যে-কোন দিকে টেনে, ছেড়ে দিলে, এটি দুলতে আরম্ভ করবে। OB হ'ল দোলন-কালে দোলকের যে-কোন অবস্থান (fig. 55)। ধরা যাক,

এই অবস্থায় এটি OA-এর সঙ্গে $\theta$ কোণ উৎপন্ন করেছে। তাহলে $\theta$ হ'ল এর কৌণিক সরণ। এখন B বিন্দুতে পিণ্ডের ওজন ($=mg$) উল্লম্ব-ভাবে নিচের দিকে কাজ করছে। একে BE ও BP ($\angle EBP=\pi/2$) --এই দুই অংশে বিভাজিত করলে, BE-বরাবর $mg \cos\theta$ ও BP-বরাবর $mg \sin\theta$ কাজ করবে। এখন, $mg \cos\theta$ দোলকের সুতোর টানের প্রতিক্রিয়ার ভারসাম্য বজায় রাখবে। তাহলে, কার্যকর বল $= mg \sin\theta$ ; এটি BP-বরাবর কাজ করবে। কিন্তু BP-এর অভিমুখ হ'ল স্থির অবস্থানের দিকে। এটি সরল দোলগতির আর একটি শর্ত। আবার,

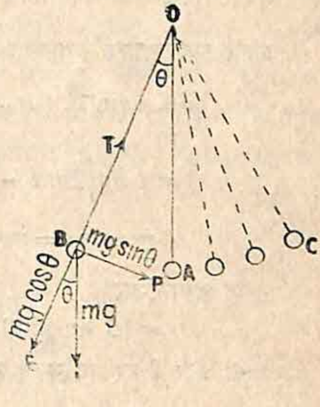



Fig. 55

$$\text{ত্বরণ} = \frac{\text{বল}}{\text{ভর}} = \frac{mg \sin\theta}{m} = g \sin\theta.$$

$\theta$ ক্ষুদ্র হলে ( সরল দোলকের ক্ষেত্রে তাই হয় ) $\sin\theta = \theta$ হয় ; অতএব ত্বরণ $= g\theta$.

তাহলে, ত্বরণ $\propto$ সরণ [ $\because$ কোন স্থানের $g$ ধ্রুবক ]

অতএব, সরল দোলগতির সব কয়টি শর্তই সরল দোলকের গতি মেনে চলছে।

<u>সরল দোলকের গতির দোলনকালের রাশিমালা নির্ণয় :</u>

এখানে প্রশমিত বল $= mg\theta = mg\,\frac{x}{l}$.

যেহেতু পুনরুদ্ধারকারী বল সরণের সহিত সমানুপাতিক কিন্তু বিপরীতমুখী। নিউটনের সনাতন বলবিদ্যার দ্বিতীয় গতিসূত্র অনুসারে আমরা জানি যে, বল $=$ ভর $\times$ ত্বরণ

সুতরাং, গতির সমীকরণ হবে $m\frac{d^2x}{dt^2} = -\,mg\,\frac{x}{l}$.

$$\text{বা,}\quad \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{g}{l}\,x = 0.$$

$$\text{বা,}\quad \frac{d^2x}{dt^2} + \omega^2 x = 0. \quad \text{যেখানে } \omega^2 = g/l.$$

এটি হ'ল সরল-দোলগতি-সম্পন্ন বস্তু-কণার অন্তরকলন সমীকরণ।

অতএব, দোলনকাল $T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{l/g}.$

**50.** একটি তরঙ্গের সমীকরণ হ'ল

$$Y = 15 \sin(600\pi t - \cdot 02\pi x)$$

তরঙ্গের কম্পাঙ্ক এবং বেগের মান নির্ণয় কর।

# কম্পন এবং তরঙ্গ

## ( Vibration and Waves )

**48.** সরল দোলগতি কাকে বলে ? ইহার বৈশিষ্ট্য কি ? সরল দোলগতির ক্ষেত্রে শক্তির সংরক্ষণ-সূত্র প্রযোজ্য—ইহা প্রমাণ কর।

বিস্তার, দোলনকাল, কম্পাঙ্ক ও দশার সংজ্ঞা দাও।

[What is S. H. M ? Mention its characteristics. Show that principle of conservation of energy is valid in the case of S. H. M.

Define : Amplitude, Timeperiod, Frequency Phase.]

● **সরল দোলগতি** (*Simple Harmonic Motion*)

**প্রথম সংজ্ঞা ঃ** যদি কোন পর্যাবৃত্ত-গতি-সম্পন্ন বস্তু-কণার গতিপথ সরলরৈখিক হয় এবং এর উপর ক্রিয়াশীল বল বা ত্বরণ, এর স্থির মধ্যক অবস্থান থেকে দূরত্বের সমানুপাতিক ও ঐ মধ্যক অবস্থান-অভিমুখী হয়, তাহলে বস্তু-কণার ঐ গতিকে **সরল দোলগতি** বলে।

**দ্বিতীয় সংজ্ঞা ঃ** সরল স্পন্দন-গতি-বিশিষ্ট কোন বস্তুর ত্বরণ সর্বদা যদি এর গতিপথের কোন নির্দিষ্ট বিন্দুর দিকে হয় এবং যে-কোন মুহূর্তে ঐ ত্বরণের মান যদি ঐ নির্দিষ্ট বিন্দু থেকে এর সরণের মানের সমানুপাতিক হয়, তবে ঐ বিশেষ ধরনের সরল স্পন্দন-গতিকে সরল দোলগতি বলা হয়।

**তৃতীয় সংজ্ঞা ঃ** যদি কোন বিন্দু একটি স্থির ব্যাসের বৃত্তের পরিধি ধরে সমান দ্রুতিতে অবিরাম ঘুরতে থাকে এবং ঐ বৃত্তের একটি নির্দিষ্ট ব্যাসের উপর ঐ ঘূর্ণনরত বিন্দু থেকে একটি অভিলম্ব কল্পনা করা যায়, তাহলে ঐ বৃত্তের ব্যাসের উপর ঐ অভিলম্বের পাদ-বিন্দুটির অগ্র-পশ্চাৎ গতি—একটি সরল দোলগতি হবে।

সরল দোলগতির বৈশিষ্ট্যগুলি হ'ল—

1. এটি একটি পর্যাবৃত্ত গতি।
2. এটি একটি স্পন্দন-গতি।
3. এই গতি—একটি সরলরৈখিক গতি।
4. এইক্ষেত্রে গতির ত্বরণ সর্বদা ঐ সরলরেখার একটি নির্দিষ্ট বিন্দু অভিমুখে হয়।
5. কোন বিশেষ সময়ে ক্রিয়ারত বল বা ত্বরণের মান, এর সাম্য অবস্থান থেকে সরণের মানের সমানুপাতিক।

● **সরল-দোলগতি-সম্পন্ন কোন বস্তু-কণার মোট শক্তি** (*Total Energy of a Particle Executing S. H. M.*)

সরল-দোলগতি-সম্পন্ন কোন বস্তু-কণার ভর $m$ এবং $t$-সময়ে তাৎক্ষণিক বেগ $v$ হলে, এর গতিশক্তি $= \frac{1}{2}mv^2$.

কোন কণার সরল দোলগতির আলোচনা করলে দেখা যায় যে, সরল-দোলগতি-বিশিষ্ট বস্তু-কণা এর গতির জন্য কিছু পরিমাণ গতিশক্তি অর্জন করে। বস্তু-কণার উপর ক্রিয়াশীল বল বস্তু-কণার গতির বিপরীত দিকে ক্রিয়া করে ব'লে বস্তু-কণা কিছু পরিমাণ কাজ ক'রে থাকে। অর্থাৎ, বস্তু-কণার কিছু পরিমাণ স্থিতিশক্তিও থাকে।

84-নং পৃষ্ঠায় প্রদত্ত চিত্রানুসারে (fig. 54) যখন P-বিন্দুতে বস্তু-কণাটির অবস্থান হবে, তখন এর তাৎক্ষণিক বেগ $v$ হলে,

$$v=-\omega a \sin\theta=-\omega\sqrt{a^2-x^2}=-\omega a\sqrt{1-\cos^2\omega t}=\omega a \sin \omega t.$$

এটিই ঐ মুহূর্তে XX' বরাবর N বিন্দুর বেগ।

এখন, আমরা বস্তু-কণাটির মোট শক্তি বার ক'রবো।

$t$-সময়ে বস্তু-কণার তাৎক্ষণিক গতিশক্তি $=\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}ma^2\omega^2\sin^2\omega t$ (1)

$[\because \ v=\omega a \sin \omega t]$

এই গতিশক্তি সর্বগরিষ্ঠ হবে, যখন $\omega t=\pi/2$ হবে ;

অর্থাৎ, সর্বগরিষ্ঠ গতিশক্তি $=\frac{1}{2}ma^2\omega^2$ ।

আবার, সর্বগরিষ্ঠ গতিশক্তি = মোট যান্ত্রিক শক্তি (W),

অতএব, মোট যান্ত্রিক শক্তি $W=\frac{1}{2}ma^2\omega^2$ (2)

গতিশক্তির মান যখন সর্বোচ্চ, তখন স্থিতিশক্তির মান সর্বনিম্ন। মূলবিন্দুতে স্থিতিশক্তির মান সর্বনিম্ন এবং শূন্য।

আমরা জানি যে, বস্তু-কণার মোট যান্ত্রিক শক্তি W = স্থিতিশক্তি + গতিশক্তি। যেহেতু, মোট যান্ত্রিক শক্তি = এর গতিশক্তির সর্বোচ্চ মান,

অতএব, স্থিতিশক্তি = মোট যান্ত্রিক শক্তি − গতিশক্তি

এখন (1), (2) সমীকরণ থেকে,

$$\begin{aligned} E_p\ (\text{স্থিতিশক্তি}) &= \tfrac{1}{2}m\omega^2a^2-\tfrac{1}{2}m\omega^2a^2\sin^2\omega t\\ &=\tfrac{1}{2}m\omega^2a^2(1-\sin^2\omega t)=\tfrac{1}{2}m\omega^2a^2\cos^2\omega t\\ &=\tfrac{1}{2}m\omega^2x^2 \qquad (3)\end{aligned}$$

এখানে, $x$ = সাম্যাবস্থান থেকে বস্তু-কণার সরণ।

(3) থেকে, $E_k$ ( গতিশক্তি ) $=\frac{1}{2}m\omega^2a^2\sin^2\omega t=\frac{1}{2}m\omega^2(a^2-a^2\sin^2\omega t)$

$=\frac{1}{2}m\omega^2(a^2-x^2)$ (4)

(2)-সমীকরণ থেকে দেখা যায় যে, কণার মোট শক্তির মান ধ্রুবক এবং এটি গতিশক্তি বা স্থিতিশক্তির চরম মানের সমান।

প্রান্তবিন্দুতে কণার শক্তি স্থিতীয়, মধ্যবিন্দুতে কণার শক্তি সম্পূর্ণ গতীয় এবং অন্যত্র কণার শক্তি আংশিক গতীয় এবং আংশিক স্থিতীয়। প্রান্তবিন্দু থেকে মধ্যবিন্দুতে যাবার সময় কণার স্থিতিশক্তি কমতে থাকে এবং গতিশক্তি বাড়তে থাকে। কিন্তু যে-কোন মুহূর্তে মোট শক্তি ধ্রুবক। সুতরাং বলা যায় যে, **সরল দোলনে যান্ত্রিক শক্তি সংরক্ষিত হয়। সরণের সঙ্গে কণার স্থিতিশক্তি ও গতিশক্তি কিভাবে বদলায়,** তা চিত্রে (fig. 52) দেখানো হয়েছে।

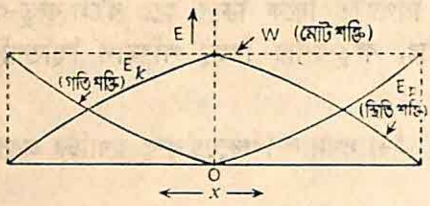



Fig 52

**বিকল্প পদ্ধতি :** কলন-বিদ্যার সাহায্যে শক্তির দুটি অংশ—স্থিতিশক্তি ও গতিশক্তি, পৃথকভাবে গণনা করা যায়।

**স্থিতিশক্তি :** সরল-দোলগতি-সম্পন্ন কণার উপর ক্রিয়াশীল বল $= -m\omega^2 x$ ; সরণের বিপরীতমুখী বলের বিরুদ্ধে কৃত কাজ হ'ল স্থিতিশক্তি। সরণের পরিবর্তন হলে, বলের মানও বদলে যাবে। কিন্তু, অতি ক্ষুদ্র সরণের $(dx)$ ক্ষেত্রে বল অপরিবর্তিত থাকে ব'লে ভাবতে পারি। সুতরাং, $dx$ সরণ ঘটাতে কৃত কাজ $= m\omega^2 x.dx$

তাহলে স্থিরাবস্থা থেকে কণার $x$ সরণের জন্য মোট কাজ $= \int_0^x m\omega^2 x dx = \frac{1}{2}m\omega^2 x^2$

$=$ কণার স্থিতিশক্তি $= E_p$ ( ধরি )।

**গতিশক্তি :** যে-কোন মুহূর্তে, যে-কোন স্থানে কণার বেগ $v = \frac{dx}{dt}$

$$= -\omega\sqrt{a^2 - x^2}.$$

গতিশক্তি $E_k = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}m\omega^2(a^2 - x^2)$

অতএব, মোট শক্তি $= W = E_p + E_k = \frac{1}{2}m\omega^2 x^2 + \frac{1}{2}m\omega^2(a^2 - x^2) = \frac{1}{2}m\omega^2 a^2.$

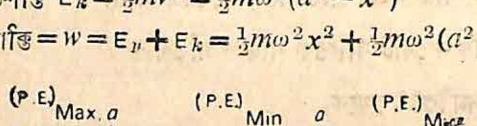



Fig. 53

এখান থেকে দেখা যায় যে, মধ্যক বিন্দুতে গতিশক্তি সর্বোচ্চ এবং প্রান্তবিন্দুদ্বয়ে সর্বনিম্ন (fig. 53)।

**বিস্তার** (amplitude) **:** কোন কম্পমান বস্তু, তার সাম্য অবস্থান বা মধ্যক অবস্থান থেকে দক্ষিণে বা বামে যে-চরম দূরত্বে স্থানান্তরিত হয়, তাকেই এর **বিস্তার** বলে।

**দোলনকাল** (time period) **:** পর্যাবৃত্ত-গতি-বিশিষ্ট বস্তু-কণার একটি পূর্ণ স্পন্দন সম্পন্ন করতে যে-সময় লাগে, তাকে ঐ কণার **দোলনকাল** বলে।

কম্পাঙ্ক (frequency) : কোন কম্পনশীল কণা প্রতি সেকেণ্ডে যতবার পূর্ণ কম্পন সম্পন্ন করে, তাকে কণার কম্পাঙ্ক বলা হয়।

কম্পাঙ্ক $n$ দ্বারা ও দোলনকাল T দ্বারা সূচিত করলে, $n=\frac{1}{T}$/sec অথবা $nT=1$. কম্পাঙ্কের এই এককে হার্ৎজ্ (Hertz) বা Hz বলা হয়।

দশা (phase) : কোন গতিশীল কণার দশা বলতে ঐ কণার যে-কোন মুহূর্তে গতির অবস্থা বোঝায়। কোন একটি মুহূর্তে গতির অবস্থা বলতে, ঐ বিশেষ মুহূর্তে কণাটির অবস্থান, বেগ, ত্বরণ, বল ইত্যাদি প্রত্যেকটিই বোঝায়। যদি বলা হয়, দুটি কণার দশা কোন সময়ে এক, তাহলে বুঝতে হবে যে, ঐ সময়ে স্থির অবস্থান থেকে এদের সরণ সমান এবং এরা একই দিক-বরাবর যাচ্ছে। সেজন্য কোন কম্পনশীল কণার দশা নির্দেশ করতে সরণের মান এবং দিক্—উভয়কেই স্পষ্ট ক'রে বলতে হয়।

**49.** সরল দোলগতির একটি সমীকরণ প্রতিষ্ঠা কর। দেখাও যে, সরল দোলকের গতি—সরল দোলগতি। সরল দোলকের গতির দোলন-কালের রাশিমালা প্রতিষ্ঠা কর।

[Obtain the equation of a simple harmonic motion. Show the motion of a simple pendulum is simple harmonic. Find out the expression of time period of the motion of the simple pendulum.]

## ● সরল দোলগতির সমীকরণ (*Equation of S. H. M.*)

ধরা যাক, একটি বস্তু-কণা $\omega$ সমকৌণিক বেগ নিয়ে একটি বৃত্ত রচনা ক'রে চলেছে। বৃত্তের যে-কোন বিন্দু P থেকে XOX′ ব্যাসের উপর PN লম্ব টানা হ'ল (fig. 54)। সংজ্ঞা অনুসারে, XOX′-এর উপর লম্বের পাদবিন্দু N সরল দোলগতি রচনা ক'রে চলেছে। বৃত্তের কেন্দ্র O হচ্ছে সরল দোলগতির নির্দিষ্ট মধ্যবিন্দু। OX এবং OX′ হচ্ছে মধ্য অবস্থানের উভয় দিকে সর্বাধিক সরণ, অর্থাৎ, সরল দোলগতির বিস্তার। ধরা যাক, $t$ সময়ে P বস্তু-কণাটি $\theta$ কোণ রচনা করছে। সুতরাং, $\theta=\omega t$। এখন, O বিন্দু থেকে লম্ব পাদ-বিন্দুর দূরত্ব $=ON=x=OP\cos\theta=a\cos\omega t$ (1)

যেখানে $a=OP=OX=$ সরল দোলগতির বিস্তার $=$ নির্দেশক বৃত্তের ব্যাসার্ধ।

$x=a\cos\omega t$—এই সমীকরণটিকে সরল দোলগতির সময়-সরণ সমীকরণ বলা হয়। যেহেতু বস্তু-কণাটি T পর্যায়কালে $2\pi$ কোণ রচনা করে, সেহেতু

$$\omega=\frac{2\pi}{T}. \qquad (2)$$

অতএব, সময়-সরণ সমীকরণটিকে লেখা যায়,

$$x=a\cos\frac{2\pi t}{T}=a\cos 2\pi nt, \quad \text{যেখানে } n=\frac{1}{T}=\text{কম্পাঙ্ক।} \qquad (3)$$

[The equation of a wave is given by
$Y = 15 \sin (600\, \pi t - \cdot 02\, \pi x)$
Calculate the frequency and the velocity of the wave.]

একটি চল-তরঙ্গের সাধারণ সমীকরণ হ'ল ঃ

$$y = a \sin\frac{2\pi}{\lambda}(vt - x)$$

$$= a \sin\left(2\pi nt - \frac{2\pi x}{\lambda}\right). \quad (1)$$

যেখানে $a$ = বিস্তার, $n$ = কম্পাঙ্ক, $\lambda$ = তরঙ্গদৈর্ঘ্য।

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে,

$$Y = 15 \sin (600\pi t - \cdot 02\pi x) \quad (2)$$

1-নং এবং 2-নং সমীকরণ তুলনা করলে আমরা পাই,

$2\pi nt = 600\pi t.$ বা, $n = \frac{600}{2} = 300$ C. P. S.

$\therefore$ কম্পাঙ্ক $n = 300$ C.P.S.

আবার, $\frac{2\pi x}{\lambda} = \cdot 02\pi x.$ বা, $\lambda = \frac{2}{\cdot 02} = \frac{200}{2} = 100$

$\therefore$ তরঙ্গদৈর্ঘ্য $= 100$ cm.

আমরা জানি যে, বেগ $V = n\lambda$

$= 300 \times 100 = 30000 = 300$ metre/sec.

**51.** চার্চের ঘণ্টা থেকে শব্দ শুনে এক ব্যক্তি তার ঘড়ি ঠিক ক'রে দেখলো যে, তার ঘড়ি 5 সেকেণ্ড ধীরে চলছে। ব্যক্তি এবং চার্চের মধ্যে দূরত্ব নির্ণয় কর।

[ শব্দের বেগ = 330 metre/sec ]

[A person after adjusting his watch by hearing the sound of the bell of a church found that his watch goes slow by 5 seconds. Calculate the distance between the church and the person.]

[velocity of sound = 330 metre/sec]

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে,

5 সেকেণ্ড সময়ে শব্দ যে-দূরত্ব যায়, তার মান $= 5 \times 330$

$= 1650$ metre.

অতএব, ব্যক্তি থেকে চার্চের দূরত্ব $= 1650$ metre.

**52.** একই কম্পাঙ্ক এবং দশা বিশিষ্ট এবং একই দিকে চলমান দুটি সরল দোলগতির উপরিপাতন লেখচিত্রের সাহায্যে ব্যাখ্যা কর।

[Discuss graphically the superposition of two S. H. M. of same frequency and phase and moving in the same direction.]

**সমান পর্যায়কাল ও ভিন্ন-বিস্তার-বিশিষ্ট দুইটি সরল দোলগতি যখন সমদশায় আছে :** 56-নং চিত্রে P$=p \sin \omega t$ এবং Q$=q \sin \omega t$ সরল দোলগতি দুটিকে নির্দেশক বৃত্তের সাহায্যে P ও Q লেখচিত্র দ্বারা দেখানো হয়েছে। একমুখী এই দুটি সরল দোলগতির উপরিপাতনের ফলে বিভিন্ন সময়ে ঐ দুটি সরল দোলগতির সরণের ( $p_1, q_1 ; p_2, q_2$ ; ...... ইত্যাদি ) বীজগাণিতিক যোগফল থেকে লব্ধি সরণ ( $p_1+q_1, p_2+q_2$, ···ইত্যাদি ) পাওয়া যায় এবং এইভাবে নির্দেশক বৃত্তের সাহায্যে লব্ধি সরল দোলগতি R$(=r \sin wt)$ পাওয়া যায়।

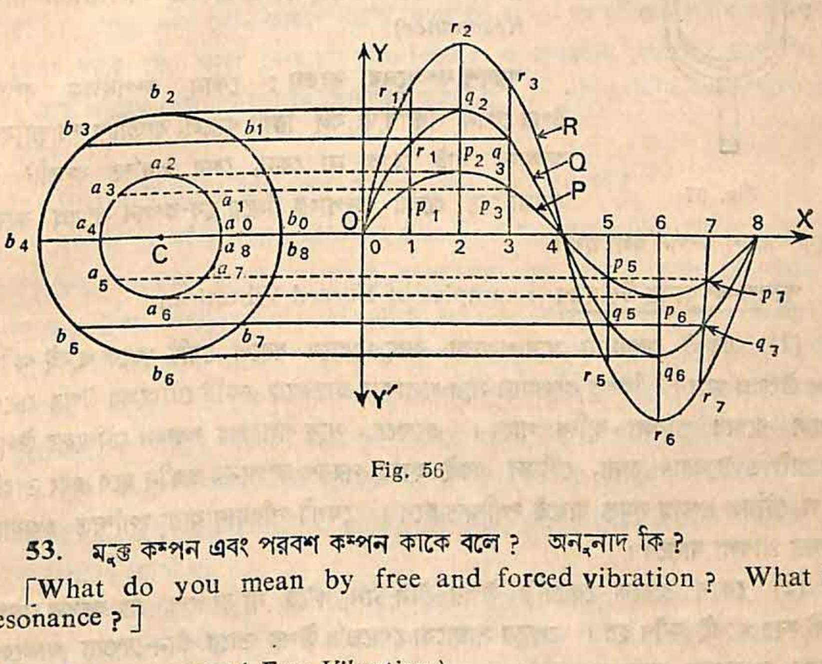



Fig. 56

53. মুক্ত কম্পন এবং পরবশ কম্পন কাকে বলে ? অনুনাদ কি ?

[What do you mean by free and forced vibration ? What is resonance ? ]

**মুক্ত বা অবাধ কম্পন** ( *Free Vibration* )

**সংজ্ঞা :** কোন স্থিতিস্থাপক বস্তুকে কাঁপিয়ে ছেড়ে দিলে, এর যে স্বাভাবিক কম্পন হয়, তাকে অবাধ কম্পন বা মুক্ত কম্পন বলা হয়। এর কম্পাঙ্ককে **স্বাভাবিক কম্পাঙ্ক** (natural frequency) এবং পর্যায়কালকে **স্বাভাবিক পর্যায়কাল** (natural period) বলা হয়।

**উদাহরণ :** বস্তুর আকৃতি বা আয়তন—যাই হোক না কেন, বস্তুকে এর সাম্যাবস্থান থেকে একটু সরিয়ে দিলে বা কোন বস্তুকে কাঁপিয়ে ছেড়ে দিলে, বস্তুটি নিজস্ব কম্পাঙ্কে কাঁপতে থাকে। সরল দোলকে এর পিণ্ডকে সাম্যাবস্থান থেকে অতি সামান্য-পরিমাণে টেনে ছেড়ে দিলে, এটি দুলতে থাকে। বায়ুর বাধা বিবেচনা না করলে, দোলকের দোলন-কাল ও কম্পাঙ্ক—দোলকের কার্যকর দৈর্ঘ্য ও ঐ স্থানের অভিকর্ষজ ত্বরণের মানের উপর নির্ভর করে এবং এটি এর নিজস্ব বৈশিষ্ট্য। কোন

সুর-শলাকাকে (fig. 57) আঘাত করলে সেটির কম্পন বা কম্পাঙ্ক সুর-শলাকার বাহু-দুটির দৈর্ঘ্য, প্রস্থ, উপাদানের ঘনত্ব ও স্থিতিস্থাপকতার উপর নির্ভর করে। কোন স্থিতিস্থাপক বস্তুকে আঘাত ক'রে ছেড়ে দিলে, এটি একটি সুনির্দিষ্ট কম্পাঙ্কে কাঁপতে থাকে। এই কম্পনের পর্যায়কাল বস্তুর আকার, আয়তন, স্থিতিস্থাপকতা প্রভৃতি ধর্মের উপর নির্ভরশীল।

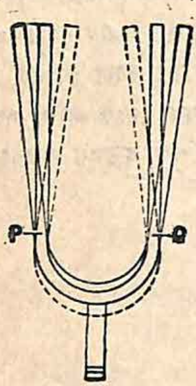


Fig. 57

**পরবশ-কম্পন ও অনুনাদ** (*Forced Vibration and Resonance*)

**পরবশ-কম্পনের সংজ্ঞা :** কোন কম্পনক্ষম বস্তুর উপর কোন পর্যাবৃত্ত বল ক্রিয়া করলে, বস্তুটির স্বাভাবিক কম্পাঙ্ক যাই হোক না কেন, শেষ পর্যন্ত বস্তুটি ঐ আরোপিত বলের কম্পাঙ্ক নিয়ে যে-কম্পন সম্পন্ন করে, তাকে পরবশ-কম্পন বলা হয়।

**পরবশ-কম্পনের উদাহরণ** (Examples of Forced Vibration)

(1) একটি কম্পমান সুর-শলাকা বায়ু-মাধ্যমে ধরলে সেটি থেকে খুবই ক্ষীণ শব্দ উৎপন্ন হবে। কিন্তু কম্পমান সুর-শলাকার হাতলকে একটি টেবিলের উপর চেপে ধরলে শব্দের প্রাবল্য বৃদ্ধি পাবে। এক্ষেত্রে, সুর-শলাকার স্পন্দন টেবিলের উপর আরোপিত হওয়ায় জন্য, টেবিল একই হারে পরবশ-কম্পনের অধীন হবে এবং তারই ফলে, টেবিল-সংলগ্ন সমস্ত বায়ুই স্পন্দিত হবে। বেশী পরিমাণ বায়ু স্পন্দিত হওয়ায় শব্দের প্রাবল্য বাড়বে।

(2) কোন তারকে বোর্ডের উপর টান-টান ক'রে না রাখলে, এর কম্পন থেকে সৃষ্ট স্বর খুবই ক্ষীণ হয়। সেতুর সাহায্যে বোর্ডের উপর তারে টান-দেওয়া থাকলে, তারের স্পন্দনের সঙ্গে বোর্ডটিও তারের কম্পাঙ্কে একই পরবশ-কম্পনের অধীন হয়। এতে বোর্ড-সংলগ্ন বায়ুও একই কম্পাঙ্কে স্পন্দিত হয়। আরও বেশী পরিমাণ বায়ু স্পন্দিত হওয়ায় স্বরের তীব্রতাও বেড়ে যায়।

**অনুনাদ :**

যদি পরবশ-কম্পনশীল বস্তুর কম্পাঙ্ক প্রথম বস্তুর স্বাভাবিক কম্পাঙ্কের সমান হয়, তবে পরবশ-কম্পন বিস্তারেও বেশী হয় এবং কম্পন বেশীক্ষণ স্থায়ী হয়। এই রকমের কম্পনকে **অনুনাদ** (resonance) বলে।

**সংজ্ঞা :** যে পরবশ-কম্পনের ক্ষেত্রে প্রযুক্ত পর্যাবৃত্ত বলের কম্পাঙ্ক, বস্তুর নিজস্ব বা স্বাভাবিক কম্পাঙ্কের সমান হয় এবং বস্তুটি সামান্য বলের প্রয়োগে এবং অতি অল্প সময়ের মধ্যেই বেশী বিস্তার নিয়ে কাঁপে, তাকে **সমবেদী কম্পন** (sympathetic vibration) বা অনুনাদ (resonance) বলে।

**অনুনাদের কয়েকটি উদাহরণ** (Some Examples of Resonance) :

(i) **যান্ত্রিক অনুনাদ** (mechanical resonance) :

প্রত্যেক কম্পনশীল বস্তুর একটি নিজস্ব কম্পাঙ্ক আছে। সরল দোলকের কম্পাঙ্ক $=\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{g}{l}}$ ; কারণ, সরল দোলকে $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ এবং $n=\frac{1}{T}$ হয়। অর্থাৎ, কোন নির্দিষ্ট স্থানে সরল দোলকের কম্পাঙ্ক, এর দৈর্ঘ্যের উপর নির্ভর করে। তাহলে, কোন স্থানে দুটি **একই দৈর্ঘ্যের** সরল দোলক রাখলে, এদের নিজস্ব কম্পাঙ্ক **একই** হবে। এখন যদি কোন কারণে একটি দোলকের কম্পন অন্যটিতে সংবাহিত হয়, তাহলে দেখা যাবে যে, অপর দোলকটি সম-বিস্তারে ও প্রথমটির দোলনের সঙ্গে মিল রেখে দুলতে থাকবে এবং এই দোলন বেশীক্ষণ স্থায়ী হবে। এটি যান্ত্রিক অনুনাদের একটি উদাহরণ।

(ii) **শব্দ-জনিত অনুনাদ** ( Acoustical resonance) :

**বাদ্যযন্ত্রের ফাঁপা বাক্স** ( Hollow box in a musical instrument ) : সেতার, বেহালা, এস্‌রাজ প্রভৃতি বাদ্যযন্ত্রে দেখা যায় যে, যন্ত্রের তারগুলি একটি ফাঁপা বাক্সের উপর আট্‌কানো। এই ফাঁপা বাক্সের একটি বিশেষ কাজ আছে। এই বাক্সগুলি বায়ুপূর্ণ থাকে। যখন কম্পনশীল তার শব্দ নিঃসরণ করে, তখন ঐ কম্পন বাক্সের ভিতরের বায়ুতে সংবাহিত হয় এবং বায়ুর পরবশ-কম্পন (forced vibration) হয়ে থাকে। বেশী পরিমাণ বায়ু কম্পিত হয় ব'লে, উৎপন্ন শব্দের প্রাবল্য বেশী হয়।

যদি কখনো কম্পনশীল তারের কম্পাঙ্ক, ভিতরের বায়ুর স্বাভাবিক কম্পাঙ্কের সমান হয়, তবে উৎপন্ন শব্দের প্রাবল্য সবচেয়ে বেশী হয়ে থাকে। কারণ, তখন অনুনাদের সৃষ্টি হয়।

ফাঁপা কাঠের বাক্সে কম্পিত সুর-শলাকা চেপে ধরলে, নিঃসৃত শব্দের প্রাবল্য যে বেশী হয়, সে কথা আগেই আলোচনা করা হয়েছে। যদি সুর-শলাকার কম্পাঙ্ক বাক্সের ভিতরের বায়ুর স্বাভাবিক কম্পাঙ্কের সমান হয়, তাহলে সর্বাধিক প্রাবল্যের শব্দ শোনা যাবে। এটিও অনুনাদের জন্য হচ্ছে।

54. **স্বরকম্প** এবং ব্যতিচারের মধ্যে পার্থক্য কি ? দুটি ভিন্ন ভিন্ন উৎস থেকে দুটি শব্দের সংযোজনের ফলে শব্দের ব্যতিচার সৃষ্টি হতে পারে কি ?

[What is the difference between beat and interference ? Can you produce interference of sound by combining two sounds produced by two different sources of sound ? ]

| স্বরকম্প | ব্যতিচার |
|---|---|
| 1. একই দিকে অগ্রসরমান তরঙ্গ-দ্বয়ের উপরিপাতনের ফলে স্বরকম্পের সৃষ্টি হয়। | 1. একই দিকে অথবা বিপরীত দিকে অগ্রসরমান তরঙ্গদ্বয়ের উপরিপাতনের ফলে শব্দের ব্যতিচার সৃষ্টি হয়। |

| স্বরকম্প | ব্যতিচার |
| --- | --- |
| 2. স্বরকম্পে তরঙ্গদ্বয়ের বিস্তার সমান বা প্রায় সমান হবে। | 2. ব্যতিচারে তরঙ্গদ্বয়ের বিস্তার প্রায় সমান হবে। |
| 3. স্বরকম্পে তরঙ্গদ্বয়ের কম্পাঙ্কের মানের সামান্য পার্থক্য থাকবে। | 3. ব্যতিচারে তরঙ্গদ্বয়ের কম্পাঙ্ক একই হবে। |
| 4. স্বরকম্পের ক্ষেত্রে কোন বিন্দুতে তরঙ্গদ্বয়ের মধ্যে দশা-পার্থক্য 0 থেকে $\pi$-এর মধ্যে সকল সময়ে পরিবর্তিত হয়। | 4. ব্যতিচারের ক্ষেত্রে কোন বিন্দুতে তরঙ্গদ্বয়ের দশা-পার্থক্য সর্বদা অপরিবর্তিত থাকে। |
| 5. স্বরকম্পের ক্ষেত্রে কোন বিন্দুতে লব্ধি-বিস্তার বা শব্দের তীব্রতা সময়ের সহিত পরিবর্তিত হয়। | 5. ব্যতিচারের ক্ষেত্রে কোন বিন্দুতে লব্ধি-বিস্তার বা শব্দের তীব্রতা সময়ের সহিত পরিবর্তিত হয় না। কিন্তু বিভিন্ন বিন্দুতে ভিন্ন ভিন্ন হইয়া থাকে। |
| 6. স্বরকম্প তরঙ্গপ্রবাহ অভিমুখে প্রবাহিত হয়ে থাকে। | 6. ব্যতিচার কণা-মাধ্যমে স্থির থাকে। |

ভিন্ন ভিন্ন উৎস থেকে সৃষ্ট শব্দ ব্যতিচার সৃষ্টি করতে পারে, তবে সেক্ষেত্রে তরঙ্গদুটির বিস্তার এবং কম্পাঙ্ক একই হতে হবে।

55. দুটি সুর-শলাকাকে ধ্বনিত করলে প্রতি সেকেণ্ডে 5টি স্বরকম্প পাওয়া যায়। একটি সুর-শলাকার কম্পাঙ্ক 256 C.P.S.। অজ্ঞাত-কম্পাঙ্ক-বিশিষ্ট সুর-শলাকার বাহুর ভর মোম লাগানোর ফলে বৃদ্ধি হ'ল এবং উক্ত সুর-শলাকাদ্বয়কে ধ্বনিত করলে দেখা গেল যে, প্রতি সেকেণ্ডে স্বরকম্পের সংখ্যা হ'ল 4। দ্বিতীয় সুর-শলাকার কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর। যদি সুর-শলাকার বাহুতে পুনরায় মোম লাগানোর ফলে ভর-বৃদ্ধি হয়, তবে প্রতি সেকেণ্ডে স্বরকম্পের সংখ্যা কি 5টি করা সম্ভব ?

[Two tuning forks, when sounded produce 5 beats per second. The frequency of one tuning fork is 256/sec. The mass of the prong of the fork of unknown frequency is increased by fixing wax on it and the two forks are sounded to produce beats. It is found that the beating frequency becomes 4 per second. Calculate the frequency of the second fork. Is it possible to produce 5 beats per second again by increasing the mass of the prong of the fork ?]

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে,

প্রতি সেকেণ্ডে স্বরকম্পের সংখ্যা = 5

এবং জ্ঞাত সুর-শলাকার কম্পাঙ্ক = 256 C.P.S.

অতএব, অজ্ঞাত সুর-শলাকার কম্পাঙ্ক হবে

$$256+5=261 \text{ C.P.S.}$$

অথবা $256-5=251$ C.P.S.

এখন, অজ্ঞাত সুর-শলাকার বাহুতে মোম লাগিয়ে ভর বৃদ্ধি করা হলে, কম্পাঙ্ক হ্রাস পাবে। অজ্ঞাত সুর-শলাকার কম্পাঙ্ক 251 হলে মোম লাগানোর পর উহার কম্পাঙ্ক আরও হ্রাস পাবে। ফলে, স্বরকম্পের সংখ্যা 5টির বেশী হবে। কিন্তু এক্ষেত্রে তাহা হয়নি।

অপরপক্ষে, অজ্ঞাত সুর-শলাকার কম্পাঙ্ক 261 হলে, মোম লাগানোর দরুন কম্পাঙ্ক হ্রাস পাবে। ফলে, স্বরকম্পের সংখ্যা 5 অপেক্ষা কম হবে। কিন্তু মোম যদি বেশী পরিমাণে লাগানো হয়, তবে অজ্ঞাত সুর-শলাকার কম্পাঙ্ক 251 থেকে আরও কম হবে। এইক্ষেত্রে মোম লাগানোর পর প্রতি সেকেণ্ডে 4টি স্বরকম্পের সৃষ্টি হয়েছে। সুতরাং, অজ্ঞাত সুর-শলাকার কম্পাঙ্ক = 261।

অজ্ঞাত সুর-শলাকার বাহুতে মোম লাগিয়ে ভর বৃদ্ধি করলে প্রতি সেকেণ্ডে স্বরকম্পের সংখ্যা 5 করা সম্ভবপর হবে।

অজ্ঞাত সুর-শলাকার বাহু মোম দ্বারা ক্রমশঃ ভারী করা হলে উহার কম্পাঙ্ক হ্রাস পেয়ে একসময় জ্ঞাত সুর-শলাকার কম্পাঙ্ক 256-এর সমান হবে। ইহার পর, ঐ বাহুতে মোম লাগিয়ে আরও ভর বৃদ্ধি করা হলে, কম্পাঙ্ক 256 থেকে হ্রাস পাবে এবং যখন কম্পাঙ্ক 251 হবে, তখন প্রতি সেকেণ্ডে 5টি স্বরকম্পের সৃষ্টি হবে।

**56.** প্রতিধ্বনি কিভাবে সৃষ্ট হয়, তাহা ব্যাখ্যা কর। একটি বড় হলে কথা বললে কেবলমাত্র প্রতিধ্বনি শোনা যায়, কিন্তু ছোট হলে কথা বললে প্রতিধ্বনি শোনা যায় না—এর কারণ ব্যাখ্যা কর।

এক ব্যক্তি 3 মিটার প্রতি সেকেণ্ড বেগে একটি পাহাড়ের দিকে দৌড়াইতে দৌড়াইতে পাহাড় থেকে 1 কিমি. দূরে থেকে বন্দুক ছুঁড়লো। শব্দের বেগ 330 মিটার প্রতি সেকেণ্ড হলে কখন এবং কোথায় সে প্রতিধ্বনি শুনবে?

[Explain the formation of echo. Explain why you hear echo when you speak in big hall but do not hear echo when you speak in a small room.

A person while running towards a cliff with a speed of 3 metre/sec fired a gun when he was 1 k.m. away from the cliff. Where and when he will hear echo, if the velocity of sound be 330 metre/sec.]

● **প্রতিধ্বনি** ( *Echo* )

শূন্য ঘরে কথা বললে কথার পুনরাবৃত্তি ঘটতে দেখা যায়। একে শব্দ-তরঙ্গের প্রতিধ্বনি বলা হয়।

**সংজ্ঞা :** স্বনক থেকে উদ্ভূত শব্দ-তরঙ্গমালা যদি দূরে অবস্থিত কোন প্রতিফলক দ্বারা প্রতিফলিত হয়ে আবার মূল ধ্বনির কাছে এসে উপস্থিত হয়, তখন মূল শব্দের যে-পুনরাবৃত্তি ঘটে, তাকে শব্দের **প্রতিধ্বনি** বলা হয়।

কিন্তু এই প্রতিধ্বনি সবসময়ে শোনা যায় না। এর কারণ, প্রতিধ্বনি শুনতে হলে শ্রোতা এবং প্রতিফলকের মধ্যে নির্দিষ্ট দূরত্ব বজায় রাখতে হবে। এই নির্দিষ্ট দূরত্ব

এরকম হবে, যাতে যে-মুহূর্তে মূল ধ্বনির সমাপ্তি ঘটবে, সেই মুহূর্তে কিংবা তার কিছু পরে, প্রতিফলিত ধ্বনি শব্দ-উৎপন্নকারী বস্তুর বা শ্রোতার কাছে এসে উপস্থিত হবে। কিন্তু শব্দ বিভিন্ন রকমের ব'লে, প্রতিধ্বনির উৎপত্তির জন্য বিভিন্নরকম দূরত্বের প্রয়োজন। শব্দ-উৎপাদনকারী বস্তু, অর্থাৎ, স্বনক দু'রকম শব্দের সৃষ্টি করতে পারে। যথা—(i) **ক্ষণস্থায়ী তীক্ষ্ন শব্দ** এবং (ii) **পদাংশ-যুক্ত বোধগম্য শব্দ**।

(i) **ক্ষণস্থায়ী তীক্ষ্ন শব্দ** ( momentary sharp sound): যে-সব শব্দ উৎপন্ন হয়েই শেষ হয়, সেইসব শব্দকে ক্ষণস্থায়ী তীক্ষ্ন শব্দ বলা হয়। বন্দুক ছুঁড়লে আওয়াজ উৎপন্ন হয়েই মুহূর্তে মিলিয়ে যায়। বন্দুক-ছোঁড়ার শব্দ যদিও মুহূর্তেই নিঃশেষ হয়ে যায়, তবু এর অনুভূতি আমাদের মাথায় এক সেকেণ্ডের এক-দশমাংশ ( $\frac{1}{10}$ সেকেণ্ড ) সময় পর্যন্ত থেকে যায়। সুতরাং, যদি বন্দুকের আওয়াজের প্রতিধ্বনি শুনতে চাওয়া হয়, তাহলে মূল ধ্বনি ও প্রতিধ্বনি শোনার মধ্যেকার সময়ের ব্যবধান কমপক্ষে $\frac{1}{10}$ সেকেণ্ড হওয়া প্রয়োজন। এর কম হলে, মূল ধ্বনি ও প্রতিধ্বনির মধ্যে তফাৎ বোঝা যায় না। সুতরাং, মূল ধ্বনির প্রতিধ্বনি শুনতে হলে, স্বনক থেকে প্রতিফলকের দূরত্ব এ-রকম থাকা দরকার, যাতে প্রতিফলিত ধ্বনি $\frac{1}{10}$ সেকেণ্ডের মধ্যে না এসে, $\frac{1}{10}$ সেকেণ্ড বা এর পরে আসতে পারে। যদি স্বনক এবং প্রতিফলকের মধ্যে দূরত্ব s হয়, তাহলে প্রতিধ্বনি-সৃষ্টির জন্য উৎপন্ন শব্দকে 2s পথ অতিক্রম করতে হবে। বায়ুতে শব্দের বেগ প্রতি সেকেণ্ডে 1120 ফুট ধরলে, স্বনক ও প্রতিফলকের মধ্যে দূরত্ব নিচের সমীকরণ অনুযায়ী হবে—

$$\frac{2s}{1120}=\frac{1}{10} \qquad \left[\because \ \frac{d}{v}=t\right]$$

বা, $s=\frac{1120}{20}$ বা, $s=56$ ft.

(ii) **পদাংশ-যুক্ত বোধগম্য শব্দ** ( syllabic articulate sound ): পরীক্ষা ক'রে দেখা গেছে যে, কোন মানুষ—যত তাড়াতাড়িই কথা বলুক না কেন, সেকেণ্ডে সে পাঁচটি পদের বেশী উচ্চারণ করতে পারে না। অর্থাৎ, একটি পদ উচ্চারণ করতে তার সময় লাগে $\frac{1}{5}$ সেকেণ্ড। সুতরাং, কোন একমাত্রিক (mono-syllabic) শব্দের প্রতিধ্বনি শুনতে হলে, প্রতিফলককে ন্যূনতম ( ধরা যাক, s ) দূরত্বে থাকতে হবে। সুতরাং, শব্দ মোট 2s পথ অতিক্রম করবে। যদি বায়ুতে শব্দের বেগ 1120 ফুট ধরা হয়, তাহলে একমাত্রিক শব্দের প্রতিধ্বনি শুনবার জন্য ন্যূনতম সময় লাগবে $\frac{1}{5}$ সেকেণ্ড।

অর্থাৎ, $\frac{2s}{1120}=\frac{1}{5}$ বা, $s=112$ ft।

সুতরাং, একমাত্রিক শব্দের প্রতিধ্বনি শোনার জন্য স্বনক থেকে প্রতিফলকের কমপক্ষে দূরত্ব 112 ft হতে হবে। এইভাবে দ্বিমাত্রিক, ত্রিমাত্রিক প্রভৃতি শব্দের প্রতিধ্বনি শুনতে হলে, 224 ft ও 336 ft ইত্যাদি দূরত্বের ব্যবধান রাখতে হবে।

মেঘ ডাকলে, এর অবিচ্ছিন্ন গুরু-গুরু ধ্বনি আমরা শুনতে পাই। এই অবিচ্ছিন্ন শব্দ মেঘের ডাকের প্রতিধ্বনি ছাড়া আর অন্য কিছুই নয়। বিভিন্ন মেঘ থেকে ধ্বনি

উৎপন্ন হয় এবং এরা $\frac{1}{10}$ সেকেণ্ডের মধ্যে আমাদের কানে এসে পেঁছায় ব'লে, আমরা মেঘের ডাকের মূল ধ্বনি ও প্রতিধ্বনির মধ্যে কোন তফাৎ বুঝতে পারি না।

ছোট ঘরে কথাবার্তা বললে দেওয়াল কর্তৃক প্রতিফলিত হয়ে শব্দ $\frac{1}{10}$ সেকেণ্ডের মধ্যে কানে এসে পেঁছায় ব'লে আমরা ধ্বনি এবং প্রতিধ্বনির মধ্যে পার্থক্য বুঝতে পারি না। সেইজন্য ছোট ঘরে প্রতিধ্বনি শোনা যায় না।

অপরপক্ষে, বড় ঘরে কথাবার্তা বললে দেওয়াল কর্তৃক প্রতিফলিত হয়ে শব্দ কানে পেঁছিবার পূর্বে কমপক্ষে $\frac{1}{10}$ সেকেণ্ড সময় অতিবাহিত করে। সেইজন্য বড় ঘরে প্রতিধ্বনি স্পষ্ট শোনা যায়।

মনে করা হ'ল, $t$ সেকেণ্ড পরে ব্যক্তিটি প্রতিধ্বনি শুনতে পেল।

যেহেতু লোকটির বেগ 3 metre/sec.

সুতরাং $t$ সেকেণ্ডে লোকটি যে-দূরত্ব অতিক্রম করে, তার মান $=3t$ metre.

এখন বন্দুক ছোঁড়ার পর এবং প্রতিধ্বনি শোনা পর্যন্ত শব্দ যে-দূরত্ব অতিক্রম করে, তার মান $=1000+(1000-3t)$ metre.

অতএব, শব্দের বেগ $=\dfrac{1000+(1000-3t)}{t}=\dfrac{2000-3t}{t}$.

যেহেতু শব্দের বেগ $=330$ metre/sec.

অতএব, $330=\dfrac{2000-3t}{t}$. বা, $330t=2000-3t$

বা, $333t=2000$

বা, $t=\dfrac{2000}{333}=6\cdot006$ seconds.

অতএব, 6·006 সেকেণ্ড পরে লোকটি প্রতিধ্বনি শুনতে পাবে।

উক্ত সময়ে পাহাড় থেকে লোকটির দূরত্ব $=1000-3\times6\cdot006$

$=1000-18\cdot018$

$=981\cdot982$ metre.

**57.** ডপ্‌লার তত্ত্ব কাকে বলে? একটি ট্রেন ঘণ্টায় 108 কিমি. বেগে বংশীধ্বনি দিতে দিতে একটি স্টেশনের দিকে অগ্রসর হচ্ছে। বংশীধ্বনির কম্পাঙ্ক 500 C.P.S.। যদি শব্দের বেগ 330 metre/sec হয়, তবে স্টেশনে দণ্ডায়মান এক পর্যবেক্ষকের নিকট বংশীধ্বনির আপাত কম্পাঙ্কের মান কত হবে?

ট্রেনটি পর্যবেক্ষককে ঠিক অতিক্রম ক'রে গেলে আপাত কম্পাঙ্ক কত হবে?

[ What is Doppler effect ? A train is whistling while approaching a station with a speed of 108 km./hr. The frequency of the whistle is 500/sec. If the velocity of sound be 330 metre/sec, calculate the apparent frequency of the sound of the whistle to an observer, standing on the platform. What would be the value of the apparent frequency when the train just cross the observer ? ]

## ডপ্‌লার তত্ত্ব ( *Doppler's Effect* )

তরঙ্গের উৎস বা স্বনক এবং শ্রোতার আপেক্ষিক গতি তরঙ্গের কম্পাঙ্ককে প্রভাবিত করে। শব্দ-তরঙ্গের ক্ষেত্রে স্বনক এবং শ্রোতার ভিতর যখন আপেক্ষিক গতি থাকে, তখন স্বনকের যথার্থ কম্পাঙ্ক যত—স্বনক, শ্রোতা বা শব্দবাহী স্থিতিস্থাপক মাধ্যমের মধ্যে একটি বা ততোধিক গতিশীল হলে শ্রোতার কানে যে-শব্দ পৌঁছোয়, তার কম্পাঙ্ক (frequency) অথবা তীক্ষ্ণতা (pitch), যথার্থ কম্পাঙ্ক বা তীক্ষ্ণতা থেকে কম বা বেশী হয়ে থাকে। একে **ডপ্‌লার তত্ত্ব** (Doppler's effect) বলা হয়। যখন স্বনক ও শ্রোতা পরস্পরের দিকে অগ্রসর হয়, তখন শব্দের তীক্ষ্ণতা বেড়ে যায়। আবার, এরা পরস্পর থেকে দূরে চলে গেলে শব্দের তীক্ষ্ণতা হ্রাস পায়। মনে রাখতে হবে যে, তীক্ষ্ণতার এই পরিবর্তন - **আপাত পরিবর্তন**। এটি কোন **স্থায়ী পরিবর্তন** নয়। স্বনক, শ্রোতা এবং মাধ্যমের আপেক্ষিক গতির জন্য এরকম হয়ে থাকে।

ডপ্‌লারের তত্ত্ব শুধু শব্দ-তরঙ্গের জন্যই প্রযোজ্য নয়। আলোক বা যে-কোন তরঙ্গগতির ক্ষেত্রেই এই তত্ত্ব প্রযোজ্য। ডপ্‌লার তাঁর তত্ত্বের সাহায্যে নক্ষত্রসমূহের আপাত-বর্ণ-পরিবর্তনের কারণ ব্যাখ্যা করেছেন।

শব্দ-তরঙ্গের ক্ষেত্রে ডপ্‌লার প্রমাণ করেছিলেন যে—

1. স্বনক স্থির শ্রোতার দিকে অগ্রসর হলে, স্বনক-নিঃসৃত তরঙ্গগুলির দৈর্ঘ্য ছোট হয়ে যায় এবং শব্দের তীক্ষ্ণতা বেড়ে যায়।
2. স্বনক স্থির শ্রোতা থেকে দূরে সরে গেলে, স্বনক-নিঃসৃত তরঙ্গগুলির দৈর্ঘ্য বড় হয় এবং শব্দের তীক্ষ্ণতা কমে যায়।
3. শ্রোতা স্থির স্বনকের কাছ থেকে দূরে সরে গেলে, শব্দের তীক্ষ্ণতা কমে।
4. শ্রোতা যদি স্থির স্বনকের কাছে অগ্রসর হয়, তাহলে তীক্ষ্ণতা বাড়ে।
5. মাধ্যমের বেগও তীক্ষ্ণতাকে প্রভাবিত করে। এক্ষেত্রে উল্লেখযোগ্য যে, স্বনক এবং শ্রোতা যদি উভয়েই স্থির থাকে, তবে মাধ্যমের গতির জন্য তীক্ষ্ণতার কোন পরিবর্তন হয় না।

## ডপ্‌লার-তত্ত্বের গাণিতিক ব্যাখ্যা ( *Mathematical Theory of Doppler's Effect* )

আমরা গতিশীল শ্রোতা, গতিশীল মাধ্যম এবং গতিশীল স্বনকের ক্ষেত্রে আপাত তীক্ষ্ণতা নির্ণয় ক'রবো। মনে করি, স্বনক, শ্রোতা এবং মাধ্যম একই রেখা বরাবর এবং একই দিকে গতিশীল। ধরা যাক, স্বনকের বেগ $= V_s$, শ্রোতার বেগ $= V_o$ মাধ্যমের বেগ $= V_w$ এবং স্থির মাধ্যমের শব্দের বেগ $= V$.

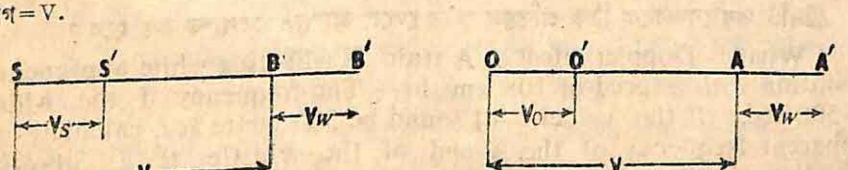



Fig. 58

ধরা যাক, V বেগে শ্রোতার দিকে ধাবিত স্বনকের কোন একটি বিশেষ সময়ে অবস্থিতি হচ্ছে S (fig. 58)। তখন O হ'ল শ্রোতার অবস্থিতি। আরো ধরা যাক, শ্রোতা $V_o$ বেগে উৎস থেকে দূরে চলে যাচ্ছে একই রেখা বরাবর।

মনে করি, $SS' = V_s$, $OO' = V_o$, $SB = OA = V$ এবং $BB' = AA' = V_w$।

স্বনকের কম্পাঙ্ক $n$ এবং তরঙ্গদৈর্ঘ্য $\lambda$ হলে, স্থির অবস্থায় $V = n\lambda$ হয়, আমরা জানি।

এক্ষেত্রে শব্দ-তরঙ্গ শ্রোতার দিকে ধাবমান। এখন, এক সেকেণ্ডের ঘটনা বিবেচনা করলে দেখা যাবে যে, সেকেণ্ডের শুরুতে উৎস যে-শব্দ সৃষ্টি করবে, সেই শব্দ-মাধ্যম গতিশীল না থাকলে, সেকেণ্ডের শেষে B-অবস্থানে পেঁাছোবে।

সুতরাং, $SB = V$ ; একইভাবে $OA = V$। মাধ্যমের বেগ $V_w$ এবং একই দিকে হলে শব্দ-তরঙ্গ এক সেকেণ্ড বাদে B-তে না পেঁাছে B অবস্থানে পেঁাছোবে, যেখানে $BB' = V_w$।

এই সময়ের অবকাশে স্বনক S থেকে S′ অবস্থানে পেঁাছোবে এবং $SS' = V_s$। আবার, এই এক সেকেণ্ড সময়ের অবকাশে স্বনক $n$-সংখ্যক তরঙ্গ নিঃসৃত করছে। যদি তরঙ্গদৈর্ঘ্য $\lambda$ হয়, তাহলে $n$-সংখ্যক তরঙ্গ S′B′ দৈর্ঘ্যের অন্তর্ভুক্ত।

কিন্তু $S'B' = S'B + BB' = SB - SS' + BB' = V - V_s + V_w$,

$$\therefore \quad \lambda = \frac{S'B'}{n} = \frac{V - V_s + V_w}{n} \qquad (1)$$

এবার শ্রোতার গতির প্রভাব কি-রকম, দেখা যাক। এক সেকেণ্ড সময় শুরু হওয়ার মুহূর্তে শ্রোতার কাছে যে শব্দ-তরঙ্গ আসবে, সেটি এক সেকেণ্ড অতিক্রান্ত হলে A′ বিন্দুতে চলে যাবে। এই সময়ের অবকাশে শ্রোতা নিজে O′ অবস্থানে চ'লে গেছে ব'লে, O′A′ দৈর্ঘ্যের মধ্যবর্তী সব তরঙ্গই শ্রোতা গ্রহণ করবে।

এখন, $O'A' = O'A + AA' = OA - OO' + AA' = V - V_o + V_w$

শব্দের আপাত তীক্ষ্ণতা $n'$ হলে, $n' = \frac{O'A'}{\lambda}$

$$= (V - V_o + V_w) \div \frac{(V - V_s + V_w)}{n} \qquad [\text{(1) থেকে}]$$

$$= \frac{V - V_o + V_w}{V - V_s + V_w} n \qquad (2)$$

(2)-নং সমীকরণ থেকে আমরা আপাত তীক্ষ্ণতা নির্ণয় করতে পারি।

## ● বিশেষ দ্রষ্টব্য :

1. যদি শ্রোতা স্বনকের অভিমুখে আসে, তাহলে $V_o$-এর পরিবর্তে $-V_o$ লিখতে হবে। সেক্ষেত্রে $n' = \frac{V + V_o + V_w}{V - V_s + V_w} n$ হবে।

2. যদি স্বনক শ্রোতার বিপরীতদিকে গতিশীল হয়, তাহলে $V_s$-এর পরিবর্তে $-V_s$ লিখতে হবে। সেক্ষেত্রে $n' = \frac{V - V_o + V_w}{V + V_s + V_w} n$ হবে।

3. মাধ্যম গতিশীল না থাকলে, $V_w = 0$ লিখতে হবে।

4. স্বনক স্থির থাকলে, শ্রোতা যদি স্বনক থেকে দূরে চলে যায়, তাহলে

$$n' = \frac{V - V_o + V_w}{V + V_w} n \text{ হবে।}$$

বিপরীতক্রমে, শ্রোতা যদি স্থির স্বনকের দিকে অগ্রসর হয়, তাহলে

$$n' = \frac{V + V_o + V_w}{V + V_w} n \text{ হবে।}$$

5. স্বনক যদি শ্রোতার দিকে অগ্রসর হয়, তাহলে

$$n' = \frac{V+V_w}{V-V_s+V_w}\, n \text{ হবে।}$$

বিপরীতক্রমে, স্বনক যদি স্থির শ্রোতার থেকে দূরে চলে যায় তাহলে

$$n' = \frac{V+V_w}{V+V_s+V_w}\, n \text{ হবে।}$$

6. যদি স্বনক এবং শ্রোতা—উভয়েই স্থির থাকে, সেক্ষেত্রে

$$n' = \frac{V+V_w}{V+V_w}\, n = n \text{ হবে।}$$

অর্থাৎ, মাধ্যমের বেগের জন্য এক্ষেত্রে কম্পাঙ্কের কোন পরিবর্তন হবে না।

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে,

বাঁশীর আপাত কম্পাঙ্ক $n' = n \times \dfrac{V}{V-V_s}$

এখানে $n = 500$ C.P.S.

$V = 330$ metre/sec.

$V_s = 108$ k.m. per hour

$= \dfrac{108 \times 1000}{60 \times 60} = 30$ metre/sec.

অতএব $n' = 500 \times \dfrac{330}{330-30}$

$= 500 \times \dfrac{330}{300} = 550$

$\therefore$ নির্ণেয় আপাত কম্পাঙ্ক $= 550$ C.P.S.

যখন ট্রেনটি পর্যবেক্ষক থেকে দূরে চলে যায়, তখন আপাত কম্পাঙ্ক—প্রকৃত কম্পাঙ্ক থেকে কম হয়।

এক্ষেত্রে, $n'' = n\dfrac{V}{V+V_s} = 500 \times \dfrac{330}{330+30}$

$= 500 \times \dfrac{330}{360} = 458{\cdot}33$

$\therefore$ নির্ণেয় আপাত কম্পাঙ্ক $= 458{\cdot}33$ C.P.S.

58. বায়ুতে শব্দের বেগ সংক্রান্ত নিউটনের সূত্রটি লেখ। ইহার ত্রুটি কি? লাপ্লাস এই সূত্রের কি সংশোধন করেছিলেন?

0°C তাপমাত্রায় কোন গ্যাসে শব্দের বেগ = 330 metre/sec। গ্যাসের দুই আপেক্ষিক তাপের অনুপাত 1·4 হলে 0°C তাপমাত্রায় গ্যাস-অণুগুলির R.M.S. বেগের মান বার কর।

[ Write down Newton's formula for the velocity of sound in air. What is the defect ? How was the formula modified by Laplace ?

The velocity of sound in a gas is 330 m/sec at 0°C. If the ratio of the two specific heats of the gas be 1·4, find out the R.M.S. velocity of the molecules of the gas at 0°C. ]

● **নিউটন-এর সূত্র ও লাপ্লাস-এর সংশোধন** ( *Newton's Formula and Laplace's Corrections* )

বায়ুতে শব্দের বেগ-সংক্রান্ত একটি সূত্রকে নিউটন গণিতের সাহায্যে প্রতিষ্ঠা করেন।

সূত্রটি হ'ল $$V_0=\sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

যেখানে $V_0$ হ'ল মাধ্যমের মধ্যে দিয়ে শব্দের বেগ ; E হ'ল মাধ্যমের স্থিতিস্থাপক গুণাঙ্ক ও $\rho$—এর ঘনত্ব।

যদি মাধ্যমটি বায়বীয় বা গ্যাসীয় হয়, তাহলে E হবে আয়তন-বিকার-গুণাঙ্ক।

ধরা যাক, কোন নির্দিষ্ট ভরের গ্যাসের চাপ P ও আয়তন V. তরঙ্গের ক্রিয়ার ফলে এর উপর সামান্য অতিরিক্ত চাপকে $p$ ধরলে, মোট চাপ $=P+p$.

বয়েল-এর সূত্রানুযায়ী ( অর্থাৎ, সম-উষ্ণতায় ) গ্যাসের আয়তন সামান্য কমে যাবে। যদি কমার পরিমাণ $v$ হয়, তবে আয়তন $(V-v)$ হবে। অতএব,

$$PV=(P+p)(V-v)$$

বা, $$0=pV-Pv-pv.$$

$pv$ অত্যন্ত ক্ষুদ্র ব'লে, একে অবজ্ঞা করলে, $vP=pV$.

বা, $$P=\frac{p}{v/V}=\frac{\text{প্রযুক্ত-চাপ}}{\text{আয়তন-পরিবর্তনের হার}}=\text{আয়তন-বিকার-গুণাঙ্ক}=E.$$

$$\therefore V_0=\sqrt{\frac{E}{\rho}}=\sqrt{\frac{P}{\rho}} \text{ হবে।}$$

এখন, 0°C-এ বায়ুর ঘনত্ব $=0·001293$ gm/c.c. এবং স্বাভাবিক চাপ 76 cm পারদ-স্তম্ভের ওজনের সমান ব'লে,

$$V_0=\left[\frac{76\times 13·6\times 980}{0·001293}\right]^{\frac{1}{2}} \text{ cm/sec}=288 \text{ metre/sec.}$$

কিন্তু পরীক্ষার সাহায্যে লব্ধ মান 332 metre/sec ব'লে, স্পষ্টই বোঝা যাচ্ছে যে, নিউটন-এর সিদ্ধান্তে কিছু ভুল আছে। নিউটন-এর পরবর্তী কালে লাপ্লাস (Laplace) এই সম্বন্ধে গবেষণা ক'রে স্থির করেন যে, তরঙ্গ-ক্রিয়া চলবার সময় উষ্ণতা স্থির থাকে না। তরঙ্গ ঘনীভূত হওয়ার সময় বায়ুর সংকোচনে যে-তাপের উদ্ভব হয়, সেই তাপ বিকীরিত হওয়ার আগেই পরবর্তী তনীভবন শুরু হয়ে থাকে। ফলে,

তনুভবন

**উষ্ণতা কোনমতেই স্থির থাকে না এবং বয়েল-এর সূত্র প্রযুক্ত হতে পারে না। এই পরিবর্তনকে রুদ্ধ-তাপ (adiabatic) বলে।** এক্ষেত্রে চাপ ও আয়তনের সম্পর্ক

$$PV^{\gamma} = \text{ধ্রুবক (constant)}$$

হয়ে থাকে।

$\gamma$ = একটি ধ্রুবক। এটি কোন গ্যাসের (এক্ষেত্রে বায়ু) স্থির চাপে আপেক্ষিক তাপ ও স্থির আয়তনে আপেক্ষিক তাপের অনুপাত। হিলিয়াম, আর্গন ইত্যাদির ক্ষেত্রে $\gamma = 1{\cdot}66$ ; হাইড্রোজেন, নাইট্রোজেন, অক্সিজেন ইত্যাদির ক্ষেত্রে $\gamma = 1{\cdot}41$।

$PV$ = ধ্রুবক না মেনে যদি $PV^{\gamma}$ = ধ্রুবক মানা হয়, তবে

$$PV^{\gamma} = (P+p)(V-v)^{\gamma}$$

$$\text{বা,}\quad PV^{\gamma} = (P+p)V^{\gamma}\left(1-\frac{v}{V}\right)^{\gamma}$$

$$\text{বা,}\quad P = (P+p)\left(1-\frac{\gamma v}{V}\right) \qquad \left[\frac{v}{V}\text{ অত্যন্ত ক্ষুদ্র ব'লে}\right]$$

$$\text{বা,}\quad 0 = p - \frac{P\gamma v}{V} \qquad \left[\frac{\gamma p v}{V}\text{-কে উপেক্ষা ক'রে}\right]$$

$$\text{বা,}\quad \gamma P = \frac{p}{v/V} = E.$$

$$\text{এখন,}\quad V_0 = \sqrt{\frac{E}{\rho}}\ \text{থেকে আমরা পাই,}\ V_0 = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}$$

$$\therefore\quad V_0 = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}.$$

এই সমীকরণে $\gamma$, $P$ ও $p$-এর মান বসিয়ে, সরল করলে যে-ফল পাওয়া যায়, সেটি পরীক্ষালব্ধ মানের সমান।

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে, কোন গ্যাসে শব্দের বেগ নিম্নলিখিত রাশিমালা দ্বারা প্রকাশ করা যায় :—

$$V = \sqrt{\frac{\gamma P}{\rho}}$$

এখানে $V = 330$ metre/sec $= 330 \times 10^2$ cm/sec

$P = 76 \times 13{\cdot}6 \times 980$ dyne/sq.cm.

$\gamma = 1{\cdot}4$

$\rho$ = গ্যাসের ঘনত্ব

অতএব $330\times10^3=\sqrt{\frac{1.4\times13.6\times980\times76}{\rho}}$

বা, $(33\times10^3)^2=\frac{1.4\times76\times13.6\times980}{\rho}$

বা, $\rho=\frac{1.4\times76\times13.6\times980}{(33\times10^3)^2}$

গ্যাসের গতি-তত্ত্ব থেকে আমরা জানি যে, কোন গ্যাস-অণুর R.M.S. বেগ বা মূল গড় বর্গ বেগ

$$\bar{c}=\sqrt{\frac{3P}{\rho}}=\sqrt{\frac{3\times76\times13.6\times980}{1.4\times76\times13.6\times980}\times(33\times10^3)^2}$$

$$=\sqrt{\frac{3\times33\times33\times10^3\times10^3}{1.4}}$$

$$=33\times10^3\sqrt{\frac{3}{1.4}}=33\times10^3\times1.46=48.30\times10^3$$

∴ নির্ণেয় গ্যাস-অণুর মূল গড় বর্গ বেগ= $=48.30\times10^3$ cm/sec.

59. স্থাণু-তরঙ্গের উৎপত্তি ব্যাখ্যা কর। স্থাণু তরঙ্গের বৈশিষ্ট্য কি কি? সুস্পন্দ বিন্দু এবং নিস্পন্দ বিন্দু বলতে কি বুঝ?

[ Explain the formation of stationary waves. Mention the characteristics of the stationary waves. What are nodes and antinodes ? ]

● **স্থাণু-তরঙ্গ** ( *Stationary Wave* )

যখন দুটি অনুরূপ তরঙ্গ ( একই বিস্তার এবং পর্যায়কাল বিশিষ্ট ) কোন-একটি বদ্ধস্থানে বিপরীত দিকে অগ্রসর হয়, তখন এরা পরস্পর মিলিত হয়ে একই স্থানে সঙ্কুচিত এবং প্রসারিত হতে থাকে। এইরকম তরঙ্গকে স্থির তরঙ্গ বলা হয়।

দুই প্রান্তে বাঁধা একটি তারকে টেনে ছেড়ে দিলে তির্যক্ তরঙ্গের সৃষ্টি হয়। এই তরঙ্গ তারের মধ্য দিয়ে সঞ্চালিত হয়ে প্রান্তদ্বয় থেকে প্রতিফলিত হয়। এই তারের প্রত্যক্ষ এবং প্রতিফলিত তরঙ্গের গতি বিপরীত ব'লে, এরা একত্রিত হয়ে স্থাণু-তরঙ্গের সৃষ্টি করবে।

কোন ট্যাঙ্কে রাখা জলে দুটি বিপরীত দিক থেকে অনুরূপ তরঙ্গের সৃষ্টি করলে স্থাণু-তরঙ্গের উৎপত্তি ঘটে।

স্থাণু-তরঙ্গে মাধ্যমের কণাগুলির একই রকম সরণ হয় না। কোন কোন বিন্দুতে কণাগুলি পূর্বাবস্থাতেই থেকে যায়, অর্থাৎ, কণার কোনরকম সরণ ঘটে না। স্থাণু-তরঙ্গের মাধ্যমের প্রত্যেক কণার **নির্দিষ্ট বিস্তার** আছে। সমদূরবর্তী কতকগুলি বিন্দুতে কণার সরণ সবচেয়ে বেশী, অর্থাৎ, বিস্তার সর্বাধিক হয়। এদের **সুস্পন্দ**

**বিন্দু** (antinode) বলা হয়। যে-সব বিন্দুতে কণাগুলি স্থির অবস্থায় থেকে যায়, সেই বিন্দুগুলিকে **নিস্পন্দ বিন্দু** (node) বলা হয়। সুস্পন্দ বিন্দু এবং নিস্পন্দ বিন্দুর অবস্থানগুলি স্থির। পর পর দুটি সুস্পন্দ বিন্দু অথবা দুটি নিস্পন্দ বিন্দুর মধ্যবর্তী দূরত্ব তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের অর্ধেক। তরঙ্গ দৈর্ঘ্যকে সাধারণতঃ λ ( ল্যামডা ) দ্বারা লেখা হয়।

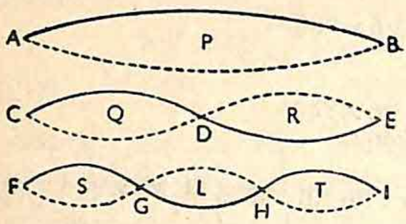



Fig. 59

উপরের চিত্রে (fig. 59) কয়েকটি সুস্পন্দ এবং কয়েকটি নিস্পন্দ বিন্দু দেখানো হ'ল। প্রথম চিত্রে A ও B বিন্দু ; দ্বিতীয় চিত্রে C, D, E বিন্দু এবং তৃতীয় চিত্রে F, G, H এবং I বিন্দুগুলি নিস্পন্দ এবং P, Q, R, S, L এবং T বিন্দুগুলি সুস্পন্দ।

**গাণিতিক বিশ্লেষণের সাহায্যে স্থাণু-তরঙ্গের ব্যাখ্যা** (Explanation of Stationary Waves by Analytical Method) :

ছুটি বিপরীতমুখী অগ্রগামী তরঙ্গ—যাদের সম-বিস্তার, সম-তরঙ্গদৈর্ঘ্য এবং সম-বেগ, তাদের সমীকরণ নিচে দেওয়া হ'ল :

$$y_1 = a \sin \frac{2\pi}{\lambda} (vt - x)$$

$$y_2 = a \sin \frac{2\pi}{\lambda} (vt + x)$$

যেখানে $a$ = তরঙ্গের বিস্তার, $\lambda$ = তরঙ্গদৈর্ঘ্য এবং $v$ = তরঙ্গের বেগ।

এই ছুটি তরঙ্গের ফলে ধরা যাক, লব্ধি-সরণ $= y$

অতএব $\quad y = y_1 + y_2$

$$= a\left\{ \sin \frac{2\pi}{\lambda} (vt - x) + \sin \frac{2\pi}{\lambda} (vt + x) \right\}$$

$$= 2a \sin \frac{2\pi}{\lambda} vt . \cos \frac{2\pi}{\lambda} x$$

যদি $R = 2a \cos \frac{2\pi}{\lambda} x$ হয়, তাহলে $y = R \sin \frac{2\pi}{\lambda} vt \qquad (1)$

(1)নং সমীকরণ থেকে দেখা যায় যে, সমাপতিত তরঙ্গ-ছুটি একটি সরল দোলগতি উৎপন্ন করে, যার তরঙ্গদৈর্ঘ্য $\lambda$ কিন্তু দোলগতির বিস্তার $R = 2a \cos \frac{2\pi}{\lambda} x$ ব'লে, বিস্তার $x$-এর মানের উপর নির্ভর করে।

সরল দোলগতিটি অগ্রগামী তরঙ্গ নয়, কারণ এতে দশার কোন পার্থক্য নেই। (1)নং সমীকরণটি স্থাণু-তরঙ্গের—যার বিস্তার, $R = 2a \cos \frac{2\pi x}{\lambda}$। এই বিস্তার থেকে আমরা দেখি, তরঙ্গের যে-সব বিন্দুতে $\frac{2\pi x}{\lambda} = 0, \pi, 2\pi, \ldots\ldots n\pi$, অর্থাৎ,

$x = 0, \frac{1}{2}, \frac{2\lambda}{2}, \ldots\ldots, \frac{n\lambda}{2}$ ( $n = 0, 1, 2, \ldots\ldots$ ইত্যাদি ), সেইসব বিন্দুতে বিস্তার $R = \pm 2a$ অথবা সব থেকে বেশী। এইসব বিন্দুকে সুস্পন্দ বিন্দু (antinode) বলে (fig. 60)।

আবার যে-সব বিন্দুতে $\frac{2\pi x}{\lambda}=\frac{\pi}{2}, \frac{3\pi}{2}, \cdots\cdots(2n+1)\frac{\pi}{2}$

অর্থাৎ, $x=\frac{\lambda}{4}, \frac{3\lambda}{4}, \frac{5\lambda}{4}, \cdots (2n+1)\frac{\lambda}{4}$ ($n=0, 1, 2$ ইত্যাদি), সেইসব বিন্দুতে বিস্তার $R=0$, অর্থাৎ, ঐ বিন্দুগুলি সব সময় স্থির থাকে। এইসব বিন্দুকে নিস্পন্দ বিন্দু (node) বলে (fig. 60)।

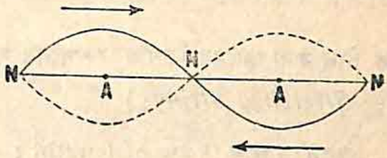



Fig. 60

স্থাণু-তরঙ্গের ধর্ম (Properties of Stationary Waves) :

1. স্থাণু-তরঙ্গে মাধ্যমের স্থির বিন্দুগুলি ছাড়া অন্যান্য কণাগুলি পর্যাবৃত্ত গতি লাভ করে।

2. স্থাণু-তরঙ্গগুলি মাধ্যমের মধ্যে স্থিরভাবে অবস্থান করে এবং সমান দূরত্বে কতকগুলি স্থানে এদের সংকোচন ও প্রসারণ একবার দেখা যায়, আবার অদৃশ্য হয়ে যায়।

3. পাশাপাশি দুটি নিস্পন্দ বিন্দুর সব কণাই এক দশায় থাকে।

4. স্থাণু-তরঙ্গের ক্ষেত্রে প্রত্যেক পূর্ণ কম্পনে (complete vibration) কণাগুলি দু'বার স্থির অবস্থায় আসে।

5. পর পর তিনটি নিস্পন্দ বিন্দু বা তিনটি সুস্পন্দ বিন্দুর মধ্যে দূরত্বই স্থাণু-তরঙ্গের তরঙ্গদৈর্ঘ্য।

6. স্থাণু-তরঙ্গের বেলায় সুস্পন্দ বিন্দুতে মাধ্যমের চাপ ও ঘনত্ব সব থেকে বেশী পরিবর্তিত হয়ে থাকে।

7. পর পর যে-কোন দুটি নিস্পন্দ বিন্দুর মধ্যস্থিত সব কণাগুলির একই দিকে সরণ হয়। এই অংশকে বলা হয় ফাঁস বা লুপ (loop)।

8. পর পর দুটি ফাঁসের কণাগুলির সরণ বিপরীত দিকে হয়।

60. টান করা তারের তির্যক্ কম্পনের সূত্রগুলি বিবৃত এবং ব্যাখ্যা কর। এই সূত্রগুলি কিভাবে পরীক্ষা করা যায়, তাহা বিবৃত কর।

দুটি বিভিন্ন উপাদানের সনোমিটার তারের দৈর্ঘ্য এবং ব্যাসের অনুপাত যথাক্রমে 5 : 4 এবং 8 : 5। উহাদিগকে একই টানে টান করা হলে তারদ্বয় সমমেলে থাকে। তারদ্বয়ের উপাদানের ঘনত্বের অনুপাত বাহির কর।

[ State and explain the laws of transverse vibration of a stretched string. How can they be verified ?

The lengths and diameters of two sonometer wires of different materials are in the ratio of 5 : 4 and 8 : 5 respectively and they

are in unison when subjected to same tension. How are the densities of the materials of the wires related ? ]

● **টান-করা তারের তির্যক্ কম্পনের সূত্র** (*Laws of Transverse Vibration of Stretched Strings* )

**দৈর্ঘ্যের সূত্র** (Law of length) : নির্দিষ্ট ভর বিশিষ্ট ($m$) এবং নির্দিষ্ট টান-দেওয়া (T) কোন তারের তির্যক্ কম্পনের জন্য কম্পাঙ্ক ($n$), দৈর্ঘ্যের ব্যস্তানুপাতিক হয়। অর্থাৎ, $n \quad \frac{1}{l}$ [ যখন T ও $m$ ধ্রুবক ]

**টানের সূত্র** (Law of tension) : কম্পনশীল তারের দৈর্ঘ্য ($l$) ও ভর ($m$) স্থির থাকলে, তারের কম্পাঙ্ক ($n$), এর টানের (T) বর্গমূলের সঙ্গে সমানুপাতিক হয়। অর্থাৎ, $n \propto \sqrt{T}$ [ যখন $l$ ও $m$ ধ্রুবক ]

**ভরের সূত্র** (Law of mass) : নির্দিষ্ট দৈর্ঘ্যের ($l$) এবং নির্দিষ্ট টান-দেওয়া (T) কোন তারের কম্পাঙ্ক ($n$), তারের একক-দৈর্ঘ্যের ভরের বর্গমূলের ব্যস্তানুপাতিক। অর্থাৎ, $n \propto \frac{1}{\sqrt{m}}$ [ যখন T ও $l$ ধ্রুবক ]

এই তিন সূত্রকে একত্র ক'রে $n \sim \frac{1}{l}\sqrt{\frac{T}{m}}$ [ যখন $l$, T, $m$—সকলেই পরিবর্তনশীল ]

$$\text{বা, } n = \frac{S}{l}\sqrt{\frac{T}{m}}$$ [ S একটি ধ্রুবক ]

যখন তারটি একটি সম্পূর্ণ অংশে কম্পিত হয়, অর্থাৎ, তার থেকে মূল সুর নির্গত হয়, তখন S = 1 ; সেক্ষেত্রে

$$n = \frac{1}{l}\sqrt{\frac{T}{m}}$$

কিন্তু, তারটি যদি একটি অর্ধ-অংশে কম্পিত হয়, সেক্ষেত্রে S = $\frac{1}{2}$ ; অর্থাৎ, তখন

$$n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}} \qquad (1)$$

● **উপরোক্ত সূত্রসমূহের পরীক্ষা** ( *Verification of the above Laws* )

তির্যক্ তারের কম্পনের সূত্রগুলি পরীক্ষা করার জন্য পরীক্ষাগারে সনোমিটার (sonometer) বা থমসন-এর একতারা যন্ত্রের ব্যবহার করা হয়ে থাকে।

**সনোমিটার বা থমসন-এর একতারা** (Sonometer or Thompson's Monocord) : এটি এক মিটারের কিছু বেশী লম্বা একটি দীর্ঘ ফাঁপা আয়তাকার কাঠের বাক্স। বাক্সের উপরের এক কোণে একটি হুকের সঙ্গে একটি সরু তারের এক

দিক বাঁধা থাকে এবং অপর দিকে একটি মসৃণ কপিকল থাকে (fig. 61)। তারের অপর অংশ এই কপিকলের উপর দিয়ে একটি বড় ঝোলানো হুকের সঙ্গে লাগানো থাকে। এই হুকে ওজন চাপিয়ে তারের উপর প্রযুক্ত টানের হ্রাস-বৃদ্ধি করা যায়। অনেক যন্ত্রে তারের সমান্তরাল ভাবে বাক্সের উপর একটি পাতলা স্কেলও থাকে। কম্পমান তারের দৈর্ঘ্য কম-বেশী করার জন্য এই সরু তারের নীচে একটি বা দুটি ধাতব অথবা কাঠের ফলক (bridge) বসানো থাকে। এদের ইচ্ছামতো সরানো যায়। কোন নির্দিষ্ট ব্যবধানে ফলক-দুটি থাকলে, এদের মধ্যেকার দূরত্বই কার্যকর দৈর্ঘ্য। যন্ত্রে সাধারণতঃ একসঙ্গে দুটি তার পাশাপাশি সাজিয়ে টান দেবার ব্যবস্থা থাকে।

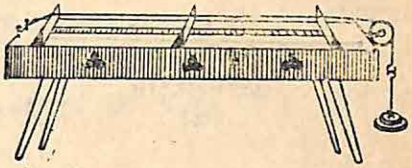


Fig. 61

তারের দৈর্ঘ্য, প্রযুক্ত টান বা বিভিন্ন একক ভরের তার ব্যবহার ক'রে এদের কম্পাঙ্ক ইচ্ছামতো বদলানো যায়।

**দৈর্ঘ্য-সূত্রের পরীক্ষা** (Verification of the Law of Length) :

সনোমিটারের হুকে একটি নির্দিষ্ট ওজন চাপিয়ে, তারটিকে একটি নির্দিষ্ট টানে রাখা হ'ল। কয়েকটি জানা-কম্পাঙ্ক-বিশিষ্ট সুর-শলাকা দিয়ে এদের মধ্যে একটিকে বাজিয়ে, এর হাতলটিকে (stem) সনোমিটারের বাক্সের উপর ধরা হ'ল। বেশী বায়ু-স্তম্ভের কম্পনের জন্য জোরে শব্দ শোনা যাবে। এখন, তারের উপর ছোট এক টুক্‌রো কাগজ রেখে ফলকটিকে ধীরে ধীরে সরিয়ে দৈর্ঘ্য এ-রকম করা হ'ল যে, কম্পনশীল সুর-শলাকার হাতল সনোমিটারের বাক্সের উপর বসানো মাত্রই কাগজের টুক্‌রোটি সজোরে ছিট্‌কে নিচে পড়ে যায়। এই অবস্থায় তারের কম্পাঙ্কের সঙ্গে শলাকার কম্পাঙ্ক সমান হয়ে থাকে, অর্থাৎ, অনুনাদ হয়ে থাকে। একেই **সমসুর** (unison) করা বলা হয়। এই অবস্থায় তারের দৈর্ঘ্য দেখা হ'ল। ধরা যাক, তারের কম্পাঙ্ক ($n_1$) ও দৈর্ঘ্য ($l_1$)। বিভিন্ন সুর-শলাকা নিয়ে এই পরীক্ষা করা হ'ল।

যদি $n_1, n_2, n_3,$ ইত্যাদি কম্পনের সুর-শলাকার জন্য সৃষ্ট শব্দ, সনোমিটারের $l_1, l_2, l_3, \cdots$ প্রভৃতি দৈর্ঘ্যের তারের কম্পনের জন্য সৃষ্ট শব্দের সঙ্গে সমসুর হয়, তাহলে দেখা যাবে, নির্দিষ্ট টানে $n_1l_1 = n_2l_2 = n_3l_3 = \cdots\cdots =$ ধ্রুবক

$$\text{বা, } n \propto \frac{1}{l}.$$

**টান-সূত্রের পরীক্ষা** (Verification of the Law of Tension) :

টান-সূত্রের পরীক্ষা করার জন্য সনোমিটারে পাশাপাশি দুটি তার সাজিয়ে টান ক'রে রাখা হয়। এই তার-দুটি একই পদার্থের হওয়া ভালো। একটি তারকে মূল বা নির্দিষ্ট তার (A) এবং অপরটিকে পরীক্ষণীয় তার (B) বলা হবে।

পরীক্ষণীয় তারের একটি **দৈর্ঘ্য স্থির** ক'রে নেওয়া হ'ল (L) এবং এতে ধরা যাক, $T_1$-ভার চাপানো হ'ল [ fig. 62 (a) ]। মূল তারে একটি **নির্দিষ্ট টান** (W) দিয়ে এর দৈর্ঘ্য এরকমভাবে ঠিক করা হ'ল, যাতে এই দৈর্ঘ্য পরীক্ষণীয় তারের L দৈর্ঘ্যের

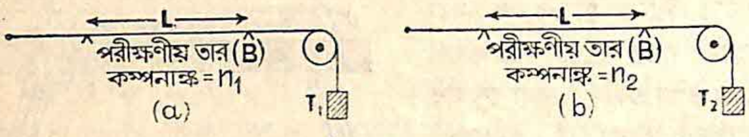



Fig. 62

সঙ্গে সমসুর হয় ($l_1$) [ fig. 63(c) ]। এটি **মূল** তারের **সঞ্চরণশীল** সেতু সরিয়ে করতে হবে। যে-কোন তার অল্প টেনে ছেড়ে দিলে, সেটি কম্পিত হবে এবং সুর শোনা যাবে। মূল তারের সেতু সরিয়ে এর দৈর্ঘ্য এমন করতে হবে, যেন কম্পিত অবস্থায় উভয় তার থেকে একই সুর বের হয়। এই দৈর্ঘ্যই হ'ল $l_1$। এই সুর খুব সাবধানে এবং মনোযোগের সঙ্গে শুনতে হবে।

এইবার পরীক্ষণীয় তারের টান বদলিয়ে $T_2$ করা হ'ল ; কিন্তু এর দৈর্ঘ্য ঠিক রাখা হ'ল [ fig. 62(b) ]। মূল তারের টান বদলানো হ'ল না ; কিন্তু দৈর্ঘ্য বদলিয়ে ($l_2$)

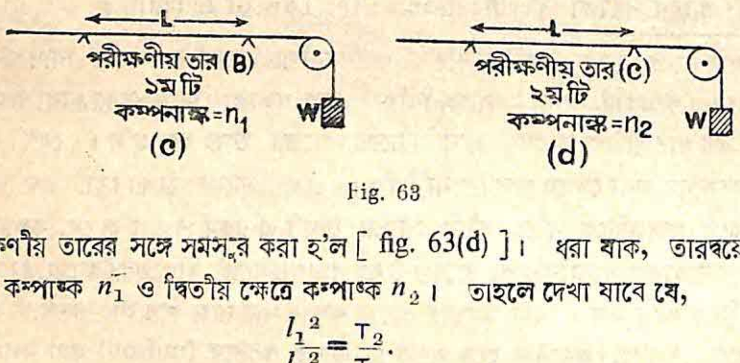



Fig. 63

পরীক্ষণীয় তারের সঙ্গে সমসুর করা হ'ল [ fig. 63(d) ]। ধরা যাক, তারদ্বয়ের প্রথম ক্ষেত্রে কম্পাঙ্ক $n_1$ ও দ্বিতীয় ক্ষেত্রে কম্পাঙ্ক $n_2$। তাহলে দেখা যাবে যে,

$$\frac{l_1^2}{l_2^2}=\frac{T_2}{T_1}. \qquad (1)$$

এখন মূল তারে টান (W) বদলানো হয়নি ব'লে, দৈর্ঘ্য-সূত্র অনুযায়ী,

$$\frac{n_1}{n_2}=\frac{l_2}{l_1}. \qquad (2)$$

আবার, যদি টান-সূত্র সঠিক হয়, তাহলে $n \propto \sqrt{T}$ থেকে,

$$n_1=k\sqrt{T_1} \text{ এবং } n_2=k\sqrt{T_2}$$

$$\text{বা, } \frac{n_1}{n_2}=\sqrt{\frac{T_1}{T_2}}. \qquad (3)$$

তাহলে, (2) ও (3) থেকে,

$$\frac{l_2}{l_1}=\sqrt{\frac{T_1}{T_2}} \quad \text{বা, } \frac{l_1^2}{l_2^2}=\frac{T_2}{T_1} \text{ হওয়া উচিত।}$$

(1) থেকে আমরা এটি পেয়েছি। অতএব, টান-সূত্র ($n \propto \sqrt{T}$) প্রমাণিত হ'ল।

## ভর-সূত্রের পরীক্ষা (Verification of Law of Mass) ঃ

এই পরীক্ষা করার জন্য দুটি বিভিন্ন প্রস্থচ্ছেদের তার নেওয়া হ'ল—একটি মোটা (B) এবং অপরটি সরু (C) (fig. 65)। প্রথমে তার-দুটির ভর পৃথক পৃথক ভাবে তুলা-যন্ত্রের সাহায্যে বার করা হ'ল। এর পর এদের দৈর্ঘ্য মাপা হ'ল। ধরা যাক, তারদ্বয়ের ভর $M_1$ ও $M_2$ এবং এদের দৈর্ঘ্য যথাক্রমে $L_1$ ও $L_2$ হ'ল। প্রতি তারের ভরকে এর দৈর্ঘ্য দিয়ে ভাগ করলে, এদের তারের একক-দৈর্ঘ্যের ভর পাওয়া যায়। এগুলিকে $m_1$ ও $m_2$ ধরা হ'ল। অর্থাৎ,

$$\frac{M_1}{L_1}=m_1 \quad \text{এবং} \quad \frac{M_2}{L_2}=m_2$$

সনোমিটারে একটি নির্দিষ্ট তার বা মূল তার (A) থাকবে (fig. 64)। এর তারটিতে পাশে প্রথমে (B) তারটিকে আট্‌কানো হ'ল। মূল তার এবং প্রথম পরীক্ষণীয় (অর্থাৎ, B) একই টান (W) দেওয়া হ'ল। সঞ্চরণশীল সেতুর সাহায্যে পরীক্ষণীয় তারটির একটি দৈর্ঘ্য নির্দিষ্ট বা স্থির ক'রে রাখা হ'ল (L)। এখন মূল তারটির

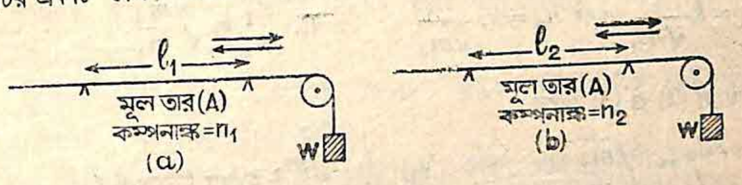



Fig. 64

দৈর্ঘ্য এ-রকম করা হ'ল, যাতে এই দৈর্ঘ্য পরীক্ষণীয় তারের L দৈর্ঘ্যের সঙ্গে সমসুর হয় ($l_1$) [ fig. 64(a) ]। এটি মূল তারের সঞ্চরণশীল সেতু সরিয়ে করতে হবে। মূল তার (A) বা পরীক্ষণীয় তার (B)—এদের যে-কোন একটিকে অল্প টেনে ছেড়ে দিলে সেটি কাঁপতে থাকবে এবং সুর শোনা যাবে। মূল তারের সেতু সরিয়ে এর দৈর্ঘ্য

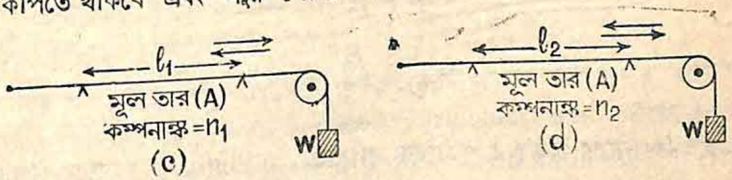



Fig 65

এমন করতে হবে, যেন কম্পিত অবস্থায় উভয় তার থেকে একই সুর বের হয়। এই সুর খুব সাবধানে এবং মনযোগী হয়ে শুনতে হবে।

এইবার সনোমিটার থেকে (B)-তারটি খুলে নিয়ে অপর তারটি (C) লাগানো হ'ল। এই তারেও W টান দেওয়া হ'ল এবং দৈর্ঘ্য আগের তারের (B) সমান করা হ'ল (L)। অর্থাৎ, দ্বিতীয় পরীক্ষণীয় তারের দৈর্ঘ্য এবং টান, প্রথম পরীক্ষণীয় তারের দৈর্ঘ্য ও টানের সমান। এইবার মূল তারের দৈর্ঘ্য বদলিয়ে ($l_2$), এই পরীক্ষণীয় তারের সঙ্গে

সমস্বর করা হ'ল [fig. 65(d)]। তার-দুটির প্রতি একক-দৈর্ঘ্যের ভর আলাদা ব'লে এদের কম্পাঙ্কও আলাদা হবে। ধরা যাক, প্রথম পরীক্ষণীয় তারের (B) কম্পাঙ্ক $n_1$ ও দ্বিতীয় পরীক্ষণীয় তারের (C) কম্পাঙ্ক $n_2$। তাহলে দেখা যাবে যে,

$$\frac{l_1^2}{l_2^2}=\frac{m_1}{m_2}. \qquad (1)$$

এখন মূল তারের টান বদলানো হয়নি ব'লে, দৈর্ঘ্য-সূত্র অনুযায়ী,

$$\frac{n_1}{n_2}=\frac{l_2}{l_1} \qquad (2)$$

আবার, যদি ভর-সূত্র সঠিক হয়, তাহলে,

$$n \propto \frac{1}{\sqrt{m}}$$ [যখন $l$ এবং T ধ্রুবক]

দ্বিতীয় ও তৃতীয় তারে $l$ এবং T বদলানো হয়নি ব'লে,

$$n_1=k\frac{1}{\sqrt{m_1}} \text{ এবং } n_2=k.\frac{1}{\sqrt{m_2}} \qquad \text{বা, } \frac{n_1}{n_2}=\sqrt{\frac{m_2}{m_1}}. \qquad (3)$$

তাহলে (2) ও (3) থেকে,

$$\frac{l_2}{l_1}=\sqrt{\frac{m_2}{m_1}} \qquad \text{বা, } \frac{l_1^2}{l_2^2}=\frac{m_1}{m_2} \text{ হওয়া উচিত।}$$

(1) থেকে আমরা এটি পেয়েছি। অতএব, ভর-সূত্র প্রমাণিত হ'ল।

টান-করা তারের তির্যক্ কম্পনের সূত্র থেকে আমরা জানি যে,

$$n=\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$$

$$=\frac{1}{2lr}\sqrt{\frac{T}{\pi\rho}}$$

যেখানে $l$ = তারের দৈর্ঘ্য, $r$ = তারের ব্যাসার্ধ, T = টান, $\rho$ = তারের উপাদানের ঘনত্ব।

প্রথম সনোমিটার তারের ক্ষেত্রে

$$n_1=\frac{1}{2\times 5l\times 4r}\sqrt{\frac{T}{\pi\rho_1}}$$

দ্বিতীয় সনোমিটার তারের ক্ষেত্রে

$$n_2=\frac{1}{2\times 4l\times 2{\cdot}5r}\sqrt{\frac{T}{\pi\rho_2}}$$

$$\therefore \quad \frac{n_1}{n_2}=\frac{1}{2\times 5l\times 4r}\frac{\sqrt{T}}{\sqrt{\pi\rho_1}}\times\frac{2\times 4l\times 2\cdot5r}{1}\times\frac{\sqrt{\pi\rho_2}}{\sqrt{T}}$$

$$=\frac{4\times 2\cdot5}{5\times4}\sqrt{\frac{\rho_2}{\rho_1}}.$$

তার-দুটির কম্পনের ফলে সমসুর নিঃসৃত হয়। সুতরাং $n_1=n_2$,

$$\therefore \quad 1=\frac{2\cdot5}{5}\sqrt{\frac{\rho_2}{\rho_1}} \qquad \text{বা,} \quad \frac{5}{2\cdot5}=\sqrt{\frac{\rho_2}{\rho_1}}$$

$$\text{বা,} \quad \frac{\rho_2}{\rho_1}=\frac{4}{1} \qquad \therefore \quad \rho_1:\rho_2=1:4.$$

**61.** উপসুর এবং সমমেল বলতে কি বুঝ ? সমস্ত সমমেল—উপসুর, কিন্তু সমস্ত উপসুর—সমমেল নহে। এই উক্তিটি ব্যাখ্যা কর।

[What do you mean by overtone and harmonic? Explain the statement that all harmonics are overtones but all overtones are not harmoics.]

**স্বর :** কোন স্বনক-নিঃসৃত শব্দের মধ্যে যদি বিভিন্ন কম্পাঙ্ক থাকে, তবে তাকে **স্বর** (note) বলে।

**সুর :** যদি শব্দের একটিমাত্র কম্পাঙ্ক থাকে, তবে, তাকে **সুর** (tone) বলে। সুতরাং, স্বর বিভিন্ন সুর দিয়ে গঠিত।

সুর-শলাকা থেকে নিঃসৃত শব্দ হ'ল সুর ; কারণ, এর একটিই কম্পাঙ্ক। কিন্তু আমরা যখন কথা বলি, সেটা স্বর ; কারণ, এটি অনেকগুলি কম্পাঙ্কের সমষ্টি। একে **যৌগিক শব্দ** (complex sound) বলে।

**মূল সুর :** কোন স্বরে যে-সব বিভিন্ন সুর থাকে, তাদের মধ্যে যে-সুরের কম্পাঙ্ক সবচেয়ে কম, তাকে **মূল সুর** (fundamental tone) বলে।

**উপসুর :** অন্যান্য সুর, যাদের কম্পাঙ্ক মূল সুরের কম্পাঙ্কের চেয়ে বেশী, তাদের **উপসুর** (overtones) বলে।

**সমমেল :** যদি উপসুরগুলির কম্পাঙ্ক, মূল সুরের সরল ( পূর্ণ সংখ্যা ) গুণিতক হয়, তবে সেইসব উপসুরগুলিকে **সমমেল** (harmonics) বলে। উপসুর—মূল সুরের দ্বিগুণ হলে, তাকে **দ্বিতীয় সমমেল** বা অষ্টক (second harmonic or octave) বলে; তিন গুণ হলে **তৃতীয় সমমেল** (third harmonic) এবং চার গুণ হলে **চতুর্থ সমমেল** (fourth harmonic), ইত্যাদি বলে।

ধরা যাক, কোন যৌগিক স্বরে নিচের কম্পাঙ্কগুলি আছে :

10, 12, 18, 20, 28, 30, 32, 40, 42, 48.

এখানে, 10 কম্পাঙ্ক হ'ল মূল সুর। 20, 30 ও 40 হ'ল যথাক্রমে দ্বিতীয়, তৃতীয় ও চতুর্থ সমমেল ( এরা 10-এর সরল গুণিতক ব'লে )। অন্যান্য কম্পাঙ্ক, যথা—12, 18, 28, 32, 42, 48—এরা হ'ল উপসুর।

যে-সকল সুরের কম্পাঙ্ক, মূল সুরের কম্পাঙ্কের সরল গুণিতক, তাহাদিগকে সমমেল বলা হয়। কিন্তু মূল সুরের কম্পাঙ্কের সরল গুণিতক হউক বা না হউক—মূল সুরের কম্পাঙ্কের বেশী যে-কোন কম্পাঙ্কের সুরকেই উপসুর বলা হয়।

সুতরাং সমস্ত সমমেল—উপসুর, কিন্তু সমস্ত উপসুর—সমমেল নহে।

62. একটি বিচিত্রানুষ্ঠানে দেখা যায় যে, অনুষ্ঠান আরম্ভ হবার পূর্বে বিভিন্ন যন্ত্রগুলি একই কম্পাঙ্কে এবং তীক্ষ্ণতায় সমাযোজিত করা হয়। এই সমাযোজনের প্রয়োজন কি? কারণ-সহ ব্যাখ্যা কর।

[ In a musical function it is found that at the begining all the different instruments are adjusted to same frequency and pitch. What is the necessity of each adjustment ? Give reason of your answer. ]

কোন বিচিত্রানুষ্ঠানে অনুষ্ঠান আরম্ভ হবার পূর্বে বিভিন্ন বাদ্যযন্ত্রগুলিকে একই কম্পাঙ্কে এবং তীক্ষ্ণতায় সমাযোজিত ক'রে সুরযুক্ত শব্দের সৃষ্টি করা হয়।

উৎসের কম্পন যদি নিয়মিত, পর্যাবৃত্ত এবং নিরবচ্ছিন্ন হয়, তখন উৎস থেকে নিঃসৃত শব্দ কানে শ্রুতি-সুখকর ব'লে মনে হয়। আবার, এই সুরযুক্ত—প্রাবল্য এবং তীক্ষ্ণতার উপর নির্ভরশীল।

আমরা জানি যে, প্রাবল্য—কম্পাঙ্কের বর্গের সমানুপাতিক। অর্থাৎ $I \propto n^2$.

সুতরাং কম্পাঙ্ক বেশী হলে প্রাবল্য বেশী হবে এবং সেখানে সুরের মাধুর্য কমে যাবে। কম্পাঙ্ক হ'ল যান্ত্রিক আন্দোলন, যা স্বনকের ধর্ম; কিন্তু তীক্ষ্ণতা হ'ল শ্রবণেন্দ্রিয়ের বিশেষ অনুভূতি। সুতরাং, কম্পাঙ্ক হ'ল কারণ এবং তীক্ষ্ণতা হ'ল তার ফল।

এই সকল কারণে কোন বিচিত্রানুষ্ঠানে অনুষ্ঠান আরম্ভ হওয়ার পূর্বে সুরযুক্ত শব্দ সৃষ্টি করার জন্যে বিভিন্ন বাদ্যযন্ত্রগুলিকে একই কম্পাঙ্ক এবং তীক্ষ্ণতায় সমাযোজিত করা হয়।

63. সুরযুক্ত শব্দ বলতে কি বুঝ? সুরযুক্ত শব্দের বৈশিষ্ট্য কি? ইহারা কোন্ কোন্ রাশির উপর নির্ভরশীল?

সেতার, পিয়ানো এবং বেহালা দ্বারা সুরযুক্ত শব্দ যুগপৎভাবে সৃষ্টি করা হ'ল? এই সকল যন্ত্র থেকে সৃষ্ট শব্দকে কিভাবে পার্থক্য করবে?

[ What do you mean by musical sound ? Write down the characteristics of musical sound. Mention the factors on which it depends.

Musical sound is produced by sitar, piano and violin simultaneously. What enable you to distinguish the sound form different instrument ? ]

## ● সুর-সমৃদ্ধ শব্দ ( *Musical Sound* )

**সংজ্ঞা ঃ** সাধারণভাবে যে-শব্দ কোন **স্বনকের** (vibrator) নিয়মিত কম্পনে উৎপন্ন এবং শ্রুতিমধুর হয়, তাকেই সুর-সমৃদ্ধ শব্দ বলা হয়ে থাকে।

যে-শব্দ সুর-সমৃদ্ধ নয়, সেটিই সুর-বর্জিত শব্দ।

ঘড়ির টিক্‌টিক্ শব্দ নিয়মিত, রেডিও-তে প্রায়ই ক্রমাগত কড়্‌কড়্ আওয়াজ শোনা যায়—সেটাও হয়তো নিয়মিত। তাই ব'লে এরা সুর-সমৃদ্ধ শব্দ নয়। আবার, দূর থেকে অ্যাম্‌প্লিফায়ারের মাধ্যমে যে-সঙ্গীত প্রীতিপদ ব'লে বোধ হয়, সেটা কিন্তু খুব কাছে থেকে শুনলে শ্রুতিকটু ও অসহ্য লাগে। অর্থাৎ, সুর-সমৃদ্ধ শব্দের নানারূপ শর্ত আছে।

আবার, ব্যক্তিগত পছন্দও সুর-সমৃদ্ধ শব্দের একটি শর্ত। কারও হয়তো একটি বিশেষ বাদ্যযন্ত্র পছন্দ হয় না, সেক্ষেত্রে ঐ বাদ্যযন্ত্রের শব্দ তার কাছে সুর-বর্জিত শব্দ। আবার, কোন বিশেষ সময়ে কোন ব্যক্তির নিজের পছন্দমতো বাদ্যযন্ত্রও ভালো না লাগতে পারে।

এইসব আলোচনা থেকে বোঝা যায় যে, সুর-সমৃদ্ধ ও সুর-বর্জিত শব্দের মধ্যে একটি নির্দিষ্ট বিভেদতল কল্পনা করা যায় না। তবে মোটামুটিভাবে বলা যায় যে, অধিকাংশের কাছে এবং কোন নির্দিষ্ট সময়ে যে-শব্দ নিয়মিত ও শ্রুতিমধুর, তাকেই সুর-সমৃদ্ধ শব্দ বলা যেতে পারে।

## ● সুর-সমৃদ্ধ শব্দের বৈশিষ্ট্য ( *Characteristics of Musical Sound*)

সুর-সমৃদ্ধ শব্দের বৈশিষ্ট্য তিনটি ; যথা—(i) **প্রাবল্য** (intensity), (ii) **বিশিষ্টতা** (quality) ও (iii) **তীক্ষ্নতা** (pitch)।

(i) **প্রাবল্য** (Intensity) ঃ শব্দের উৎপত্তি-স্থলের যত কাছে থাকা যায়, শব্দ ততই জোরে শুনতে পাওয়া যায়—এটা আমরা জানি। একই ভৌত শর্তাবলীতে থেকে যদি একটি শব্দকে আর-একটি শব্দের তুলনায় জোরে শোনা যায়, তাহলে প্রথম শব্দটিকে দ্বিতীয়টির চেয়ে প্রবল বলা হয়। অর্থাৎ, যে শব্দ-তরঙ্গ যত বেশী শক্তি বহন করে এবং শ্রোতার কাছে অধিকতর কম্পনের, তথা বিস্তারের সৃষ্টি করে, তাকে তত প্রবল বলা হয়। এই বিশেষ ধর্মটিকে প্রাবল্য (intensity) বলে।

মাধ্যমের কোন বিন্দুতে শব্দের প্রাবল্য ঐ বিন্দুর চারপাশে একক ক্ষেত্রফলের মধ্যে দিয়ে লম্বভাবে প্রতি সেকেণ্ডে তরঙ্গ কর্তৃক সঞ্চালিত শক্তি দ্বারা পরিমাপ করা হয়।

নিচে লেখা কারণগুলির উপর প্রাবল্য নির্ভর করে ঃ

(a) **বিস্তার** (amplitude) ঃ প্রাবল্য—তরঙ্গের বিস্তারের বর্গের সমানুপাতিক। কাজেই, স্বনকের বিস্তার বেশী হলে, প্রাবল্যও বেশী হয়ে থাকে। যদি প্রাবল্য I ও বিস্তার $a$ হয়, তবে

$$I \propto a^2 \quad (1)$$

# গাণিতিক উদাহরণমালা

## [ Mathematical Problems ]

### ● বলবিজ্ঞান এবং পদার্থের ধর্ম ●

**1.** $f$ সমত্বরণে সরলরেখা বরাবর চলমান একটি বস্তুকণা $t$ সেকেণ্ড সময়ে $s$ দূরত্ব এবং পরবর্তী $t'$ সেকেণ্ড সময়ে $s'$ দূরত্ব অতিক্রম করিল, প্রমাণ কর যে,

$$f=2\left(\frac{s'}{t'}-\frac{s}{t}\right)\Big/(t+t') \qquad \text{[H. S. 1969]}$$

মনে করিলাম, বস্তুকণার প্রাথমিক বেগ$=u$.

অতএব

প্রথম ক্ষেত্রে $s=ut+\frac{1}{2}ft^2$ ... ... (i)

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে $s+s'=u(t+t')+\frac{1}{2}f(t+t')^2$ ... (ii)

$$\therefore\quad s'=ut+ut'+\tfrac{1}{2}f\,(t^2+2t\,t'+t'^2)-ut-\tfrac{1}{2}ft^2$$
$$=ut'+\tfrac{1}{2}f\,(t'^2+2t\,t')$$

বা, $\frac{s'}{t'}=u+\frac{1}{2}ft'+ft$ ... ... (iii)

(i)নং সমীকরণ থেকে আমরা পাই,

$\frac{s}{t}=u+\frac{1}{2}ft$ ... ... ... (iv)

অতএব, (iii) এবং (iv) নং সমীকরণ থেকে আমরা পাই,

$$\frac{s'}{t'}-\frac{s}{t}=\tfrac{1}{2}f\,(t'+t)$$

বা, $$f=2\left(\frac{s'}{t'}-\frac{s}{t}\right)\Big/(t+t').$$

**2.** স্থিরাবস্থা হইতে যাত্রা শুরু করিয়া একটি বস্তুকণা একই সরলরেখায় প্রথমে $a$ সমত্বরণে এবং পরে $b$ সম-মন্দনে যায়। যদি যাত্রার $t$ সময় পরে কণাটি পুনরায় স্থিরাবস্থায় আসে এবং উক্ত সময়ে কণাটি মোট s দূরত্ব অতিক্রম করে, তবে প্রমাণ কর যে,

$$t^2=2\left[\frac{1}{a}+\frac{1}{b}\right]s \qquad \text{[ H. S. 1970 ]}$$

মনে করিলাম, বস্তুকণাটি $a$ ত্বরণে যায় $t_1$ সময় এবং $b$ সম-মন্দনে যায় $t_2$ সময়। $t_1$ সময় পরে বস্তুকণা যে-বেগ পায়, তাহার সর্বোচ্চ মান $= v$

অতএব সর্তানুসারে,

$$v = 0 + at_1 \qquad \text{বা,} \quad t_1 = \frac{v}{a}$$

$$0 = v - bt \qquad \text{বা,} \quad t_2 = \frac{v}{b}.$$

সুতরাং, $t_1 + t_2 = v\left[\frac{1}{a} + \frac{1}{b}\right]$ ... ... (i)

$t_1$ এবং $t_2$ সময়ে কণাটির সরণ যথাক্রমে $s_1$ এবং $s_2$ হইলে আমরা পাই,

$$v^2 = 0 + 2as_1 \qquad \text{বা,} \quad s_1 = \frac{v^2}{2a}$$

$$0 = v^2 - 2bs_2 \qquad \text{বা,} \quad s_2 = \frac{v^2}{2b}$$

$$\therefore \quad s_1 + s_2 = \frac{v^2}{2}\left[\frac{1}{a} + \frac{1}{b}\right] \qquad \text{(ii)}$$

(1)-এবং (2)-নং সমীকরণ হইতে আমরা পাই,

$$t = v\left[\frac{1}{a} + \frac{1}{b}\right]$$

$$s = \frac{v^2}{2}\left[\frac{1}{a} + \frac{1}{b}\right]$$

$$\therefore \quad \frac{t^2}{s} = \frac{v^2\left[\frac{1}{a} + \frac{1}{b}\right]^2}{\frac{v^2}{2}\left[\frac{1}{a} + \frac{1}{b}\right]} = 2\left[\frac{1}{a} + \frac{1}{b}\right]$$

$$\therefore \quad t^2 = 2\left[\frac{1}{a} + \frac{1}{b}\right]s.$$

3. একটি গাড়ী স্থিরাবস্থা হইতে যাত্রা আরম্ভ করিয়া কিছু সময়ের জন্য একটি স্থির ত্বরণ $\alpha$ লইয়া চলিল এবং ইহার পর $\beta$ সম-মন্দনে গতিবেগ হ্রাস করিয়া স্থির অবস্থায় আসিল। যদি ইহাতে মোট $t$ সময় লাগে, তবে (i) গাড়ীর সর্বোচ্চ বেগ এবং (ii) ইহা দ্বারা অতিক্রান্ত মোট দূরত্ব নির্ণয় কর। [I. I. T. 1973]

মনে করিলাম, গাড়ীটি $t_1$ সময় ধরিয়া $\alpha$ ত্বরণ লইয়া $s_1$ দূরত্ব অতিক্রম করিবার পর উহার সর্বোচ্চ বেগ $v$ হইল এবং তারপর $\beta$ মন্দন-সহ $t_2$ সময়ে $s_2$ দূরত্ব অতিক্রম করিল।

(b) **কম্পাঙ্ক** (frequency) : প্রাবল্য—তরঙ্গের কম্পাঙ্কের বর্গের সমানুপাতিক। সেজন্য কম্পাঙ্ক বেশী হলে, প্রাবল্য বেড়ে যায়। যদি প্রাবল্য I ও কম্পাঙ্ক $n$ হয়, তবে

$$I \propto n^2 \qquad (2)$$

(c) **স্বনক থেকে শ্রোতার দূরত্ব** (distance of source from receiver) : স্বনক থেকে শ্রোতার দূরত্ব যত বেশী হবে, প্রাবল্যও তত কমে যাবে। প্রাবল্য—দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক। যদি প্রাবল্য I ও দূরত্ব R হয়, তবে

$$I \propto \frac{1}{R^2} \qquad (3)$$

(d) **মাধ্যমের ঘনত্ব** (density of the medium) : যে-মাধ্যমের মধ্যে দিয়ে শব্দ-তরঙ্গ সঞ্চালিত হচ্ছে, তার ঘনত্ব বাড়লে শব্দের প্রাবল্য বাড়ে। প্রাবল্য ঘনত্বের সমানুপাতিক। যদি প্রাবল্য I ও ঘনত্ব $\rho$ হয়, তবে

$$I \propto \rho \qquad (4)$$

বায়ুর চেয়ে লোহার ঘনত্ব বহুগুণ বেশী ব'লে, লোহার মধ্যে শব্দের প্রাবল্য যত হবে, বায়ুতে তত হবে না। এজন্য রেলগাড়ি আসার শব্দ বায়ুতে না শোনা গেলেও, লাইনে কান পেতে রাখলে, বহুদূর থেকে শব্দ শোনা যায়।

(e) **স্বনকের আকৃতি** (size of the source) : স্বনক আকৃতিতে যত বড় হবে, এর থেকে উৎপন্ন শব্দ, তথা, প্রাবল্য তত বেশী হবে।

(f) **স্বনক, শ্রোতা ও শব্দবাহী মাধ্যমের গতি** (relative velocity of source, medium and receiver) : যদি স্বনক ও শ্রোতা স্থির থাকে, তাহলে মাধ্যমের বেগের উপর শব্দ-প্রাবল্য নির্ভর করে। তরঙ্গের অভিমুখ ও মাধ্যমের অভিমুখ একই দিকে হলে প্রাবল্য বেড়ে যায়, বিপরীত দিকে হলে কমে যায়। যদি স্বনক, শ্রোতা এবং মধ্যবর্তী মাধ্যম—প্রত্যেকটিই গতিশীল হয়, তাহলে উৎপত্তি-স্থল থেকে আগত শব্দ-তরঙ্গের প্রাবল্য বদলিয়ে যায়।

(g) **অনুনাদী বস্তুর নিকট উপস্থিতি** (Presence of resonating bodies) : স্বনকের কাছে কোন অনুনাদী বা কম্পনক্ষম বস্তু থাকলে, শব্দের প্রাবল্য বাড়ে। একটি সুর-শলাকাকে কাঁপালে যে-আওয়াজ বার হবে, সুর-শলাকাটি কাঁপিয়ে হাতলটিকে টেবিলের উপর ধরলে আওয়াজের তীব্রতা বৃদ্ধি পাবে। সুর-শলাকার কম্পন টেবিলের উপর পরবশ-কম্পন সৃষ্টি করে ব'লে, টেবিলের সংলগ্ন বায়ু কাঁপে। সেক্ষেত্রে বেশী আয়তনের বায়ুর কম্পন হয় ব'লে, শব্দের প্রাবল্য বেশী হয়।

(ii) **বিশিষ্টতা বা জাতি** (Quality of timber) : দুটি একই প্রাবল্য ও একই কম্পাঙ্ক-বিশিষ্ট শব্দের মধ্যে যে-ধর্ম দ্বারা এদের তফাৎ বোঝা যায়, তাকেই বিশিষ্টতা বা জাতি বলে। এই তথ্য বৈজ্ঞানিক হেলমহোজ (Helmholtz) আবিষ্কার করেন। একই সঙ্গে বাঁশি ও সেতার বাজালে শ্রোতা একই সঙ্গে সেই শব্দ শুনে থাকেন।

যদি উভয় বাদ্যযন্ত্র-নিঃসৃত শব্দের প্রাবল্য ও কম্পাঙ্ক একই হয়, তবুও শ্রোতা সহজেই ব'লে দিতে পারেন যে, বাঁশি এবং সেতার বাজছে। এই তফাৎ-বোধ বিশিষ্টতার জন্যই হয়ে থাকে।

হেলমহোজ সিদ্ধান্ত করেন যে, কোন সুর-সমৃদ্ধ স্বরের বিশিষ্টতা বা জাতি **সমমেল সমূহের সংখ্যা, এদের আপেক্ষিক শক্তি** এবং **কি-ভাবে এরা সজ্জিত** (order)—এদের উপর নির্ভর করে। বিশিষ্টতা এদের **দশার বৈষম্যের** (phase difference) উপর নির্ভর করে না।

সমমেলের উপস্থিতিতে তরঙ্গের **সময়-সরণ লেখ** (time-displacement curve) বদলিয়ে যায়। কোন **সুর** (tone)-নিঃসৃত শব্দের তরঙ্গ একটি সাইন-লেখ-এর মতো [ fig. 66(a) ] হয়ে থাকে। যখন এতে সমমেল থাকে, তখন লেখটি জটিল হয়ে যায়। যত বেশী সমমেল থাকে, ততই লেখটি জটিলতর হয়ে পড়ে। চিত্রে [ fig. 66(a) ] কোন তরঙ্গের মূল সুর বোঝাচ্ছে। পরবর্তী চিত্রে [ fig. 66(b) ] ঐ তরঙ্গের দ্বিতীয় সমমেল (second harmonic) বোঝাচ্ছে। এর তরঙ্গদৈর্ঘ্য মূল সুরের অর্ধেক এবং কম্পাঙ্ক দ্বিগুণ। যখন কোন স্বরে মূল সুর এবং এর দ্বিতীয় সমমেল একই সঙ্গে থাকে, তখন এই দুই তরঙ্গের লব্ধি দ্বারাই তরঙ্গের যথার্থ প্রকৃতি পাওয়া যাবে। পরের চিত্রে [ fig. 66(c) ] এই লব্ধির সময়-সরণ লেখ দেখানো হয়েছে।

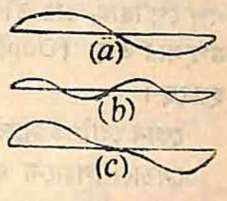



Fig. 66

পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত হয়েছে যে, কোন বাদ্যযন্ত্র থেকে নিঃসৃত শব্দে একটিমাত্র কম্পাঙ্ক থাকে না। একটি মূল এবং আরও অন্যান্য সমমেলের মিশ্রণ ঐ শব্দের মধ্যে থাকে। শব্দের বিশিষ্টতা শব্দ-তরঙ্গের লেখচিত্রের আকৃতির উপর নির্ভর করে। কম্পাঙ্কগুলির মিশ্রণের ফলে যে যৌগিক শব্দ-তরঙ্গ তৈরি হয়, তার লেখচিত্র একটি কম্পাঙ্ক-বিশিষ্ট শব্দ-তরঙ্গের লেখচিত্র থেকে আলাদা। এর ফলেই বিশিষ্টতার উৎপত্তি। পাশের চিত্রে (fig. 67) একই প্রাবল্য এবং একই মূল কম্পাঙ্ক-বিশিষ্ট বিভিন্ন জাতির শব্দের লেখচিত্র দেখানো হয়েছে।

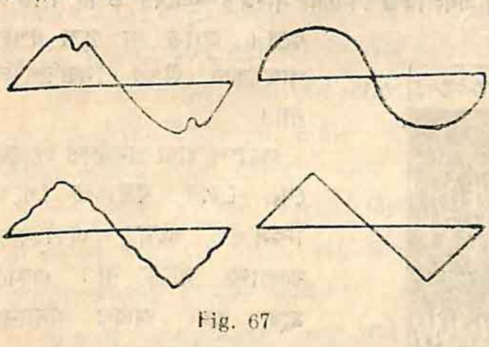


Fig. 67

(iii) <u>তীক্ষ্ণতা</u> (Pitch) ঃ স্বনকের কম্পাঙ্কের **উপর** সুরের তীক্ষ্ণতা নির্ভর করে। কম্পাঙ্ক বাড়লে, তীক্ষ্ণতা বাড়ে। যেহেতু $v = n\lambda$, সেহেতু $n$, অর্থাৎ, কম্পাঙ্ক বাড়লে তরঙ্গদৈর্ঘ্য ($\lambda$) কমে যায়। তাহলে, তীব্র সুরের তরঙ্গদৈর্ঘ্যও ছোট হবে।

মশার আওয়াজের তীক্ষ্ণতা, কুকুরের ডাকের তীক্ষ্ণতার চেয়ে বেশী। আবার, শিশুর সুরের তীক্ষ্ণতা, কোন পূর্ণবয়স্ক লোকের সুরের তীক্ষ্ণতার চেয়েও বেশী হয়ে থাকে।

মনে রাখতে হবে, তীক্ষ্ণতা ও কম্পাঙ্ক পুরোপুরি এক জিনিস নয়। একটির উপর অপরটি নির্ভরশীল। **কম্পাঙ্ক হ'ল যান্ত্রিক আন্দোলন** (mechanical vibration) **কিন্তু তীক্ষ্ণতা হ'ল শ্রবণেন্দ্রিয়ে একটি বিশেষ অনুভূতি।** কম্পাঙ্ক হ'ল—কারণ; আর, তীক্ষ্ণতা হ'ল—ফল।

সুরের তীক্ষ্ণতা যে-কম্পাঙ্ক দ্বারা নির্দিষ্ট হয়, সেটা সত্য; কিন্তু স্বনক, শ্রোতা বা শব্দবাহী স্থিতিস্থাপক মাধ্যমের একটি বা ততোধিক গতিশীল হলে, শ্রোতার কানে যে-শব্দ পেঁছায়, তার তীক্ষ্ণতা—যথার্থ তীক্ষ্ণতা থেকে কম-বেশী হয়ে থাকে। একে **ডপ্‌লার তত্ত্ব** (Doppler effect) বলা হয়। এ-সম্বন্ধে আগেই আলোচনা করা হয়েছে।

কোন যৌগিক সুরের **তীক্ষ্ণতা বলতে এর মূল সুরের কম্পাঙ্ক** বোঝায়।

সেতার, পিয়ানো এবং বেহালা বাদ্যযন্ত্র থেকে নিঃসৃত শব্দ শুনে শ্রোতা সহজেই ব'লে দিতে পারে যে—সেতার, পিয়ানো এবং বেহালা বাজছে। এই পার্থক্য-বোধ বিশিষ্টতা বা জাতির জন্যে হয়ে থাকে।

সেতারের তারে আঙ্গুলের সাহায্যে, বেহালার তারে ছড়ের সাহায্যে বাজানো হয়। পিয়ানোর ভিতর পরপর অনেকগুলি বিভিন্ন দৈর্ঘ্যের এবং বিভিন্ন প্রস্থচ্ছেদের তার টান ক'রে বাঁধা থাকে। যখন উহার চাবি টেপা হয়, তখন ছোট কাঠের হাতুড়ী নির্দিষ্ট তারকে আঘাত করে এবং সুর-যুক্ত শব্দের উৎপত্তি ঘটে।

বিজ্ঞানী হেল্‌মহোজ সিদ্ধান্ত করেন যে, কোন সুর-যুক্ত শব্দের গুণ বা জাতি সমমেল সংখ্যা, এদের আপেক্ষিক শক্তি এবং কিভাবে এরা সজ্জিত—এদের উপর নির্ভর করে। জাতি বা গুণ দশা-পার্থক্যের উপর নির্ভরশীল নয়।

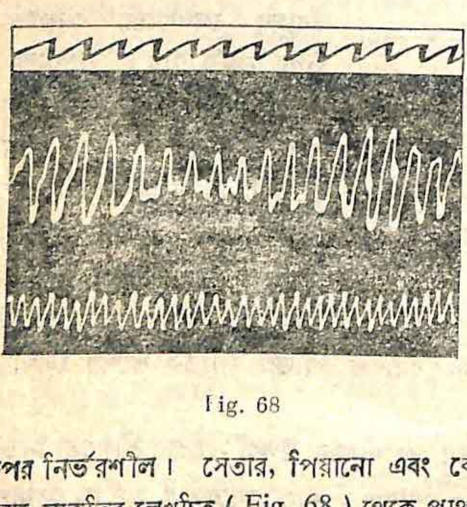


Fig. 68

পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণিত হয়েছে যে, কোন বাদ্যযন্ত্র থেকে নিঃসৃত শব্দে একটিমাত্র কম্পাঙ্ক থাকে না। একটি মূল এবং আরও অন্যান্য সমমেলের মিশ্রণ ঐ শব্দের মধ্যে থাকে। শব্দের গুণ বা জাতি শব্দ-তরঙ্গের লেখচিত্রের আকৃতির উপর নির্ভরশীল। সেতার, পিয়ানো এবং বেহালা বাদ্যযন্ত্র থেকে নিঃসৃত শব্দের তরঙ্গ-আকৃতির লেখচিত্র ( Fig. 68 ) থেকে পার্থক্য পরিষ্কারভাবে বুঝা যায়।

ফুরিয়ার বিশ্লেষণের সাহায্যে তাত্ত্বিকভাবে নিঃসৃত শব্দের পার্থক্য বোঝা যায়।

64. অনুনাদী বায়ুস্তম্ভের সাহায্যে শব্দের বেগ কিভাবে নির্ণয় করা যায়, তাহা লিপিবদ্ধ কর। প্রান্তীয় ত্রুটি কিভাবে সংশোধন করা যায়, তাহা বিবৃত কর।

[ Determine the velocity of sound in air with the help of resonance-air-column method. How would you eleminate end errors ? ]

**⊙ অনুনাদী বায়ু-স্তম্ভের সাহায্যে শব্দের বেগ-নির্ণয়** (*Determination of Velocity of Sound by Resonance of Air-column* )

বায়ু অথবা অন্য কোন গ্যাস-পূর্ণ নলে যদি স্থাণু-তরঙ্গের সৃষ্টি হয়, তবে সেই বায়ু-স্তম্ভের একটি নির্দিষ্ট কম্পাঙ্ক থাকে। কোন এক-মুখ-খোলা নলে এরকম তরঙ্গের সৃষ্টি হলে এবং অন্য মুখে স্বনক ( যেমন—সুর-শলাকা ) রাখলে, যদি বায়ু-স্তম্ভের ও স্বনকের কম্পাঙ্ক সমান হয়, তাহলে অনুনাদের সৃষ্টি হয়। শব্দ-তরঙ্গের বেগ-নির্ণয়ে এই নীতিকে কাজে লাগানো হয়।

পাশের চিত্রে (fig. 69) একটি অনুনাদী নল দেখানো হয়েছে। এতে একটি অংশাঙ্কিত ফাঁপা এক-মুখ-খোলা কাচের নল (G) একটি ক্ল্যাম্পের সঙ্গে স্ট্যান্ডে লাগানো আছে। নলের নিচ থেকে একটি রবার-টিউব (T), একটি বড়-মুখ ধাতব ফানেলের (R) সঙ্গে যুক্ত হয়েছে। ফানেলটিও ক্ল্যাম্প ও স্ক্রু-র সাহায্যে স্ট্যান্ডের সঙ্গে লাগানো আছে। কাচের নল, রবার-টিউব ও ফানেলের কিছু অংশ জলপূর্ণ থাকে। ফানেল-সংশ্লিষ্ট স্ক্রু-টি ঘুরিয়ে একে ওঠানো-নামানো যায়। এইভাবে কাচের নলের ভিতরে জলের দৈর্ঘ্য, তথা, এর উপরের বায়ু-স্তম্ভের দৈর্ঘ্য বদলানো যায়।

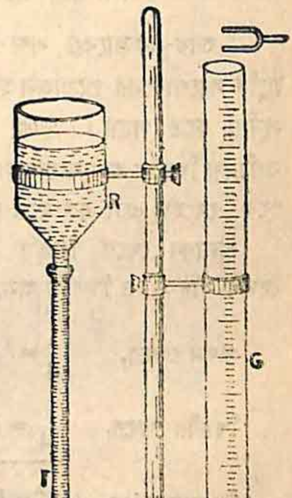


Fig. 69

কোন সুর-শলাকাকে কাঁপিয়ে এর যে-কোন একটি বাহু G-নলের উপরে ধরা হ'ল। R-ফানেলটিকে উঠিয়ে-নামিয়ে এমন অবস্থায় আনা হ'ল, যাতে অনুনাদ সৃষ্টি হয় এবং জোরালো শব্দ শোনা হয়। ঐ অবস্থায় বলা যেতে পারে, বায়ু-স্তম্ভের কম্পাঙ্ক ও সুর-শলাকার কম্পাঙ্ক সমান।

G-নলের অনুনাদকারী বায়ু-স্তম্ভের দৈর্ঘ্য $l$, সুর-শলাকার কম্পাঙ্ক $n$ ও বায়ুতে শব্দ-তরঙ্গের বেগ V হলে, বায়ু-স্তম্ভ মূল সুরে কাঁপছে ব'লে

$$V = n\lambda = 4nl \qquad (1)$$

$n$-এর মান জানা থাকায় এবং $l$-এর মান পরীক্ষা ক'রে বার করা হয়েছে ব'লে 1-নং সমীকরণ থেকে V-এর মান বের করা যায়। আবার,

প্রশ্নানুসারে, $t=t_1+t_2$ এবং $s=s_1+s_2$

অতএব, গাড়ির সর্বোচ্চ বেগ $v=\alpha t_1$ (i)

এবং $0=v-\beta t_2$ বা, $v=\beta t_2$ (ii)

(i) এবং (ii)-নং সমীকরণ হইতে $t_1=\frac{v}{\alpha}$ এবং $t_2=\frac{v}{\beta}$.

$$t_1+t_2=v\left[\frac{1}{\alpha}+\frac{1}{\beta}\right] \quad \text{বা,} \quad t=v\left[\frac{1}{\alpha}+\frac{1}{\beta}\right] \qquad \text{(iii)}$$

আবার, $v^2=2\alpha s_1$ এবং $0=v^2-2\beta s_2$

$$s_1=\frac{v^2}{2\alpha} \quad \text{এবং} \quad s_2=\frac{v^2}{2\beta}.$$

$$\therefore \quad s_1+s_2=\frac{v^2}{2}\left[\frac{1}{\alpha}+\frac{1}{\beta}\right]$$

$$\text{বা,} \quad s=\frac{v^2}{2}\left[\frac{1}{\alpha}+\frac{1}{\beta}\right] \qquad \text{(iv)}$$

(iii)-নং সমীকরণ হইতে আমরা পাই,

$$t=v\left[\frac{\alpha+\beta}{\alpha\beta}\right] \quad \text{বা,} \quad v=\frac{\alpha\beta t}{\alpha+\beta} \qquad \text{(v)}$$

(iv)-নং সমীকরণে v-এর মান বসাইয়া আমরা পাই,

$$s=\tfrac{1}{2}\times\frac{\alpha^2\beta^2t^2}{(\alpha+\beta)^2}\times\frac{\alpha+\beta}{\alpha\beta}=\frac{\alpha\beta t^2}{2(\alpha+\beta)}$$

4. একটি সরল দোলকের দৈর্ঘ্য 1 মিটার এবং উহার পিণ্ডের ভর 10 গ্রাম। সুতাকে অনুভূমিক অবস্থায় আনিয়া পিণ্ডটিকে ছাড়িয়া দেওয়া হইল। যখন পিণ্ডটি উহার পথের সর্বনিম্ন বিন্দুতে, তখন (i) উহার গতিশক্তি এবং (ii) সুতার টান নির্ণয় কর। [ I. I. T., 1973 ]

সরল দোলকের পিণ্ডটি যখন সর্বনিম্ন বিন্দুতে পেঁছায়, তখন উহা 100 সেমি. খাড়া দূরত্ব অতিক্রম করিবে এবং উহার গতিশক্তি—স্থিতিশক্তি হ্রাসের সমান হইবে।

অতএব, গতিশক্তি $=\frac{1}{2}mv^2=mgh=10\times980\times100=98\times10^4$ erg.

এখন সর্বনিম্ন বিন্দুতে সুতার টান T = পিণ্ডের ভর + অভিকেন্দ্র বল

$$\text{বা,} \quad T=mg+\frac{mv^2}{r}=10\times980+\frac{2\times98\times10^4}{100}=29{,}400 \text{ dyne.}$$

5. একটি রকেটকে ভূপৃষ্ঠ হইতে খাড়া উপরের দিকে 10 মিটার/সেকেণ্ড$^2$ ত্বরণে উৎক্ষেপ করা হইল। এক মিনিটের মধ্যে রকেটের জ্বালানী নিঃশেষিত হয় এবং উহা উপরের দিকে উঠিতে থাকে। রকেটটির সর্বোচ্চ উচ্চতা কত হইবে?

[ I. I. T. 1975 ]

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে,

1 মিনিট পর রকেটটির বেগ

$$v=0+10\times 60=600$$ মিটার/সেকেণ্ড।

এক মিনিট পর রকেটের উচ্চতা

$$x=\frac{1}{2}ft^2=\frac{1}{2}\times 10\times 60\times 60=18000$$ মিটার।

সর্বোচ্চ উচ্চতা $h=\frac{v^2}{2g}=\frac{600\times 600}{2\times 9\cdot 8}=18400$ মিটার।

∴ ভূপৃষ্ঠ হইতে রকেটের সর্বোচ্চ উচ্চতা

$$=18000+18400=36400$$ মিটার।

6. এক ব্যক্তি গড়ে 24 মাইল/ঘণ্টা বেগে গন্তব্যস্থানের অর্ধেক দূরত্ব অতিক্রম করিল। বাকি পথ ঘণ্টায় গড়ে কত বেগে চলিলে সমস্ত পথ 32 মাইল/ঘণ্টা গড় বেগে অতিক্রম করিবে? [J. E. E., 1985]

মনে করিলাম, সমস্ত পথটির দূরত্ব $=x$ মাইল এবং ব্যক্তিটি বাকি পথ v মাইল/ঘণ্টা গড় বেগ লইয়া চলিয়াছে।

অতএব প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে,

$$\frac{\frac{x}{2}}{24}+\frac{\frac{x}{2}}{v}=\frac{x}{32} \quad \text{বা,} \quad \frac{x}{48}+\frac{x}{2v}=\frac{x}{32} \quad \text{বা,} \quad \frac{x}{2v}=\frac{x}{32}-\frac{x}{48}$$

$$\text{বা,} \quad \frac{1}{v}=\frac{1}{16}-\frac{1}{24} \quad \text{বা,} \quad \frac{1}{v}=\frac{3-2}{48} \quad \text{বা,} \quad v=48$$

∴ নির্ণেয় গড় বেগ $=48$ মাইল/ঘণ্টা।

7. একটি ক্রিকেট বল ব্যাটসম্যান কর্তৃক আঘাত পাওয়ার 5 সেকেণ্ড পরে একজন খেলোয়াড় লুফিল। বলটি গতিপথে কত উচ্চ উঠিয়াছিল? [$g=980$ cm/sec$^2$] [J. E. E. 1985]

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে, $\frac{u\sin\alpha}{g}=\frac{5}{2}$

এবং সর্বোচ্চ উচ্চতা

$$H=\frac{u^2\sin^2\alpha}{2g}=\frac{25}{4}\times\frac{g^2}{2g}=\frac{25}{4}\times\frac{980}{2}=3062\cdot 5$$

অতএব, বলটি 3062·5 সেমি· উচ্চে উঠিয়াছে।

8. একটি গৃহের 50 বর্গ-মিটার ক্ষেত্রফল বিশিষ্ট একটি দেওয়ালে বায়ু 100 কিমি/ঘণ্টা বেগে লম্বভাবে আপতিত হয়। সংঘর্ষের পর বায়ু দেওয়ালের সহিত

$v$-এর মান জানা থাকলে, কোন অজানা কম্পাঙ্কের **সুর-শলাকার কম্পাঙ্কও** বার করা যেতে পারে।

G-নলের মধ্যে কোন গ্যাস ভ'রে, তার মধ্যে শব্দ-তরঙ্গের বেগ কত, সেটাও নির্ণয় করা যায়।

এইভাবে পাওয়া $v$-এর মানে কিছু ভুল থেকে যায়। পরীক্ষার সাহায্যে **লর্ড র‍্যালে** (Lord Rayleigh) দেখিয়েছেন যে, সুস্পন্দ বিন্দু নলের ঠিক উপরে থাকে না—একটু বাইরের দিকে থাকে। যে-নল নিয়ে পরীক্ষা করা হচ্ছে, তার ব্যাস $d$ হলে, নলের মুখ থেকে সুস্পন্দ বিন্দুর অবস্থান $0{\cdot}3d$ দূরে হবে। তাহলে সুস্পন্দ ও ও নিস্পন্দ বিন্দুর মধ্যে দূরত্ব $l$ না হয়ে, $(l+0{\cdot}3d)$ হবে।

অতএব, 1নং সমীকরণ থেকে, $v=4n(l+0{\cdot}3d)$ (2)

এটিই শব্দ-তরঙ্গের বেগের যথার্থ মান দেবে। একে **প্রান্তিক ত্রুটি-সংশোধন** (end correction) বলা হয়ে থাকে।

[ আর-একভাবেও শব্দ-তরঙ্গের যথার্থ বেগ নির্ণয় করা যায়। সেক্ষেত্রে প্রান্তিক ত্রুটি-সংশোধনের প্রয়োজন হয় না। অনুনাদী নলের দৈর্ঘ্য বাড়লে, আবার অনুনাদ সৃষ্টি হতে পারে। প্রথম অনুনাদের পর যখন নলের ভিতরের বায়ু-স্তম্ভের দৈর্ঘ্য বাড়িয়ে দ্বিতীয় অনুনাদের সৃষ্টি হয়, তখন তৃতীয় সমমেলের উৎপত্তি হচ্ছে, বুঝতে হবে ( যেহেতু এটা এক-মুখ-খোলা নল ছাড়া আর কিছুই নয় )।

শলাকা থেকে নির্গত তরঙ্গের তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য $\lambda$, প্রথম অনুনাদের সময় বায়ুস্তম্ভের দৈর্ঘ্য যদি $l_1$ ও দ্বিতীয় অনুনাদের সময় বায়ু-স্তম্ভের দৈর্ঘ্য যদি $l_2$ হয়, তাহলে,

প্রথম ক্ষেত্রে, $\frac{\lambda}{4}=l_1+0{\cdot}3d$ ;

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে, $\frac{3\lambda}{4}=l_2+0{\cdot}3d.$

বিয়োগ ক'রে, $\frac{\lambda}{3}=l_2-l_1$

সুতরাং $v=n\lambda=2n(l_2-l_1)$ (3)

3-নং সমীকরণ ব্যবহার করলে, প্রান্তের ত্রুটি-জনিত কোন সংশোধনের প্রয়োজন হয় না। ]

**65.** এক-মুখ-বন্ধ নলে স্থাণু-তরঙ্গের উৎপত্তি কিভাবে হয়, তাহা ব্যাখ্যা কর। দেখাও যে, খোলা প্রান্তে সৃষ্ট সুরে মূল সুরের অযুগ্ম সমমেলগুলি থাকে।

[How are stationary waves produced in a tube, closed at one end ? Show that note, produced by blowing at open end will contain odd harmonics of the fundamental. ]

● **এক-মুখ-বন্ধ নলে বায়ু-স্তম্ভের কম্পন** (*Vibration of air-column in a pipe closed at one end*)

কোন এক-মুখ-খোলা নলের এক দিকে কোন স্বনক ( যেমন—কম্পমান সুর-শলাকা ) রাখলে, বায়ু-স্তম্ভের কম্পন হবে এবং স্থাণু-তরঙ্গের সৃষ্টি হবে। স্থাণু-তরঙ্গ সৃষ্টি হলে, বায়ু-মাধ্যমে সুস্পন্দ ও নিস্পন্দ বিন্দুর সৃষ্টি হবে। এক-মুখ-বন্ধ নলের বন্ধ-মুখে সর্বদাই নিস্পন্দ বিন্দুর সৃষ্টি হয়ে থাকে এবং অন্য মুখে সুস্পন্দ বিন্দুর সৃষ্টি হয়। বন্ধ-মুখ থেকে প্রতিফলিত হয় ব'লে, সেখানে নিস্পন্দ বিন্দু হয় এবং খোলা-মুখে স্বনক থাকে ব'লে, ঐ স্থানে সুস্পন্দ বিন্দু হয়। স্থাণু-তরঙ্গের জন্য নলের মধ্যে যদি একটিমাত্র সুস্পন্দ ও একটিমাত্র নিস্পন্দ বিন্দু থাকে, তাহলে বায়ু-স্তম্ভের কম্পনের ফলে নিঃসৃত শব্দে **মূল-সুর** (fundamental) থাকে [ fig. 70(I) ]। আমরা জেনেছি যে, পর পর একটি নিস্পন্দ ও একটি সুস্পন্দ বিন্দুর মাঝখানের দূরত্ব $\lambda_1/4$ ; কাজেই নলের দৈর্ঘ্য $l$ হলে,

$$l=\lambda_1/4 \qquad \text{বা,} \quad \lambda_1=4l.$$

কিন্তু, $v=n\lambda_1$ ; অতএব,

$$n=\frac{v}{\lambda_1}=\frac{v}{4l} \qquad (1)$$

এখানে, $v$-বায়ু-মাধ্যমে শব্দ-তরঙ্গের বেগ বোঝাচ্ছে।

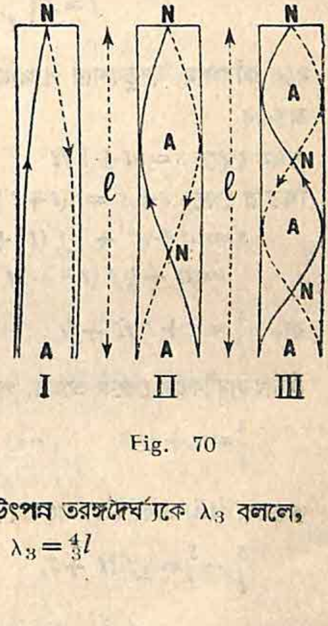


Fig. 70

নলের বন্ধ-মুখে নিস্পন্দ বিন্দু ও খোলা-মুখে সুস্পন্দ বিন্দুর মধ্যে যথাক্রমে একটি সুস্পন্দ ও একটি নিস্পন্দ বিন্দু থাকতে পারে। এরকম অবস্থায় বায়ু-স্তম্ভের মধ্যে প্রথম উপসুরের সৃষ্টি হয় [ fig. 70(II) ]। এক্ষেত্রেও নলের দৈর্ঘ্য $l$ ব'লে, উৎপন্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্যের $\frac{3}{4}$ অংশ এর মধ্যে থাকবে। অতএব, উৎপন্ন তরঙ্গদৈর্ঘ্যকে $\lambda_3$ বললে,

$$l=\tfrac{3}{4}\lambda_3 \qquad \text{বা,} \quad \lambda_3=\tfrac{4}{3}l$$

এখন, $v=n\lambda$ থেকে, $n_3=\frac{v}{\frac{4}{3}l}=\frac{3v}{4l}=3n$ (2)

যখন কম্পনের মধ্যে আরও একটি ক'রে সুস্পন্দ ও নিস্পন্দ বিন্দু থাকে, তখন দ্বিতীয় উপসুরের সৃষ্টি হয় [fig. 70(III)]। এক্ষেত্রে তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য $\lambda_5$ ও নলের দৈর্ঘ্য $l$ হলে,

$$l=\tfrac{5}{4}\lambda_5 \qquad \text{বা,} \quad \lambda_5=\frac{4l}{5}$$

$$\therefore \; n_5=\frac{v}{\lambda_5}=\frac{5v}{4l}=5n \qquad (3)$$

এইসব আলোচনা থেকে বোঝা গেল যে, এক-মুখ-খোলা ও এক-মুখ-বন্ধ নলে বায়ু-স্তম্ভের কম্পনে মূল সুরের তৃতীয়, পঞ্চম, সপ্তম প্রভৃতি সমমেল উৎপন্ন হয়। অর্থাৎ, এইসব ক্ষেত্রে বিযুগ্ম সমমেল পাওয়া যায় মাত্র।

সমান্তরালভাবে চলিয়া গেলে এবং উহার ঘনত্ব $1 \cdot 134 \times 10^{-3}$ গ্রাম প্রতি সিসি-তে হইলে বায়ু কর্তৃক দেওয়ালে প্রযুক্ত বলের পরিমাণ নির্ণয় কর। [J. E. E. 1981]

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে,

ভরবেগের পরিবর্তন = বায়ুর ভর × বেগ $= m \times u = u^2 \rho$

সুতরাং, প্রযুক্ত বল $= u^2 \rho \times$ ক্ষেত্রফল

$$= \left[\frac{100 \times 10^5}{60 \times 60}\right]^2 \times 1 \cdot 134 \times 10^{-3} \times 50 \times 10^4.$$

$$= 4 \cdot 4 \times 10^9 \text{ dyne.}$$

9. সমহারে কার্যরত একটি ইঞ্জিন মোট 500 মেট্রিক টন বিশিষ্ট একটি রেলগাড়ীকে একটি আনত তল বরাবর উপরের দিকে টানিয়া লইয়া যায়। আনত তলটি আনুভূমিক তলের সহিত $\sin^{-1}(\frac{1}{100})$ কোণে অবস্থিত। রেলগাড়ির গতির বিরুদ্ধে ঘর্ষণ-জনিত বল প্রতি মেট্রিক টনে 5 কিগ্রা-ভার এবং আনত তলের উপরের দিকে বৃহত্তম বেগ 10 মিটার/সেকেন্ড হইলে ইঞ্জিনের ক্ষমতা কিলোওয়াটে নির্ণয় কর।

[J. E. E. 1981]

এখানে ঘর্ষণ-বল $= 500 \times 5 \times 9 \cdot 8$ Newtons. নততল বরাবর রেলগাড়ির ওজনের উপাংশ $= mg \sin \theta = 500 \times 10^3 \times 9 \cdot 8 \times \frac{1}{100} = 500 \times 10 \times 9 \cdot 8$ Newtons.

অতএব, মোট প্রযুক্ত বল = ঘর্ষণ বল + ওজনের উপাংশ

$$= 500 \times 5 \times 9 \cdot 8 + 500 \times 10 \times 9 \cdot 8$$

$$= 500 \times 15 \times 9 \cdot 8 \text{ Newton.}$$

সুতরাং, প্রতি সেকেন্ডে কৃত কার্য

$$= \text{প্রযুক্ত বল} \times \text{বেগ} = 500 \times 15 \times 9 \cdot 8 \times 10 \text{ Newton-metre/sec.}$$

অতএব, ক্ষমতা $= 500 \times 15 \times 9 \cdot 8 \times 10$ watt

$$= \frac{500 \times 15 \times 9 \cdot 8 \times 10}{1000} = 735 \text{ Kilowatt.}$$

## ● স্থিতিস্থাপকতা ●

10. 1 মিটার লম্বা একটি তার 10 কিগ্রা ওজনের টানে লম্বায় ·1 সেমি বাড়িল। তারটির প্রস্থচ্ছেদ ·1 বর্গ-সেমি.। পদার্থটির ইয়ং-গুণাঙ্কের মান বাহির কর। পয়সন অনুপাত যদি $\frac{1}{3}$ হয়, তবে তারটির আয়তনের পরিবর্তন নির্ণয় কর। [J. E. E. 1982]

আমরা জানি যে,

$$\text{ইয়ং-গুণাঙ্ক (Y)} = \frac{\text{অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন}}{\text{অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি}} = \frac{mg}{\pi r^2} \cdot \frac{L}{l}.$$

$$= \frac{10 \times 10^3 \times 980}{\cdot 1} \times \frac{100}{\cdot 1} = 9 \cdot 8 \times 10^{10} \text{ dynes/sq. cm.}$$

তারের আয়তন $V = \pi r^2 l$.

অন্তরকলন করিয়া পাই,

$$dV = \pi r^2 dl + \pi l\, 2r\, dr.$$
$$= \pi r^2 dl - 2\pi r^2 \sigma dl$$

$$\left[\because \quad \sigma = -\frac{dr}{r} \Big/ \frac{dl}{l} = -\frac{l}{r} \cdot \frac{dr}{dl}\right.$$

বা, $\left. dr = -\sigma\, r \frac{dl}{l}. \right]$

বা, $dV = \pi r^2 dl\,[1 - 2\sigma] = \cdot 1 \times \cdot 1 [1 - 2 \times \frac{1}{3}]$

$$= \cdot 1 \times \cdot 1 \times (1 - \tfrac{2}{3}) = \cdot 1 \times \cdot 1 \times \tfrac{1}{3} = \cdot 0033.$$

$\therefore$ তারটির আয়তনের পরিবর্তন $dV = \cdot 0033$ c.c.

**11.** 10 মিটার উচ্চতা-বিশিষ্ট একটি উল্লম্ব ইস্পাত-স্তম্ভ 80 মেট্রিক টন ওজন দ্বারা ইস্পাতের ইয়ং-গুণাঙ্ক $2 \times 10^6$ কিগ্রা-ভার/সেমি$^2$, প্রস্থচ্ছেদ 100 বর্গ-সেমি. এবং পয়সন অনুপাত ·2 হইলে দৈর্ঘ্য-হ্রাস এবং ওজন প্রযুক্ত করা হইলে, স্তম্ভের আয়তন-হ্রাসের মান নির্ণয় কর। [J. E. E. 1979]

আমরা জানি যে,

$$\text{ইয়ং-গুণাঙ্ক} = \frac{\text{অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন}}{\text{অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি}} = \frac{mg}{\pi r^2} \cdot \frac{L}{l}.$$

$$2 \times 10^6 \times 10^3 = \frac{80 \times 10^3 \times 10^3}{100} \times \frac{10 \times 100}{l}$$

বা, $l = \dfrac{8 \times 10^{10}}{2 \times 10^9 \times 100} = \dfrac{8}{2 \times 10} = \cdot 40.$

অতএব, ইস্পাত-স্তম্ভের দৈর্ঘ্য-হ্রাস $dl = \cdot 4$ cm.

তারটির আয়তন $V = \pi r^2 l.$

অন্তরকলন করিয়া আমরা পাই,

$$dV = \pi r^2 dl + \pi l.\, 2r.\, dr.$$
$$= \pi r^2 dl - 2\pi r^2 \sigma dl = \pi r^2 dl (1 - 2\sigma)$$
$$= 100 \times \cdot 4 (1 - 2 \times \cdot 2) = 100 \times \cdot 4 \times \cdot 6 = 24$$

$\therefore$ ইস্পাত-স্তম্ভের আয়তন-হ্রাস $dV = 24$ c.c.

**12.** 200 সেমি. দৈর্ঘ্যের একটি হালকা দণ্ডকে আনুভূমিকভাবে দুইটি সম-দৈর্ঘ্যের উল্লম্ব তার দ্বারা একটি ঘরের সিলিং হইতে ঝুলানো হইল। একটি তার ইস্পাতের তৈরী এবং উহার প্রস্থচ্ছেদ ·1 বর্গ-সেমি এবং অপর তারটি পিতলের তৈরী এবং উহার প্রস্থচ্ছেদ ·2 বর্গ-সেমি। দণ্ডটির উপর এমন একটি বিন্দু বাহির কর, যেখান হইতে ওজন ঝুলাইয়া দিলে

(i) তার-দুইটিতে সমপীড়ন সৃষ্টি হইবে ;

(ii) তার-দুইটির সমবিকৃতি ঘটিবে।

পিতলের ইয়ং-গুণাঙ্ক $= 10 \times 10^{11}$ dyne/sq. cm.

ইস্পাতের ইয়ং-গুণাঙ্ক $= 20 \times 10^{11}$ dyne/sq. cm. [I. I. T. 1974]

মনে করিলাম,

ইস্পাত এবং পিতলের তারের উপর প্রযুক্ত বল যথাক্রমে $F_1$ এবং $F_2$

$\therefore$ ইস্পাত-তারে পীড়ন $= \frac{F_1}{\cdot 1}$

এবং পিতলের তারে পীড়ন $= \frac{F_2}{\cdot 2}$

সমপীড়ন সৃষ্টি করিতে হইলে $\frac{F_1}{\cdot 1} = \frac{F_2}{\cdot 2}$ বা, $\frac{F_1}{F_2} = \frac{1}{2}$

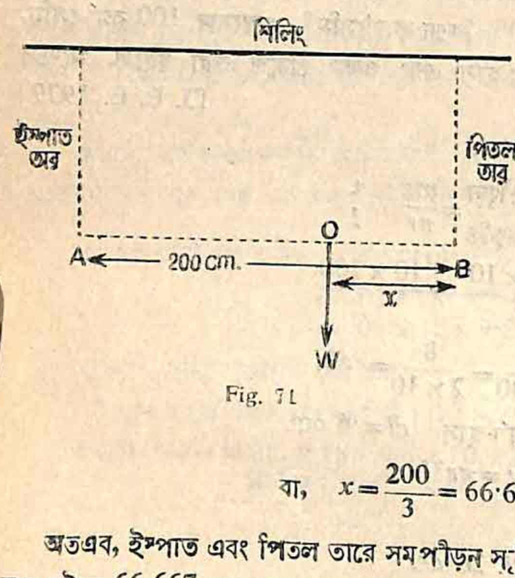



Fig. 71

মনে করিলাম,

AB → হালকা দণ্ড। পিতল তার হইতে $x$ দূরত্বে AB দণ্ডের O বিন্দুতে একটি ওজন W ঝুলানো হইল।

সুতরাং, $F_1(200 - x) = F_2 \times x.$

বা, $\frac{F_1}{F_2} = \frac{x}{200 - x}.$

বা, $\frac{1}{2} = \frac{x}{200 - x}.$

বা, $3x = 200$

বা, $x = \frac{200}{3} = 66{\cdot}667$ cm.

অতএব, ইস্পাত এবং পিতল তারে সমপীড়ন সৃষ্টি করিতে হইলে ওজনকে পিতল তার হইতে 66·667 cm দূরত্বে ঝুলাইতে হইবে।

(iii) আমরা জানি যে,

$$\text{ইয়ং-গুণাঙ্ক } Y = \frac{\text{অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন}}{\text{অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি}}$$

ইস্পাত তারের ক্ষেত্রে বিকৃতি $= \frac{F_1/\cdot 1}{20 \times 10^{11}}.$

পিতল তারের ক্ষেত্রে বিকৃতি $= \frac{F_2/\cdot 2}{10 \times 10^{11}}.$

সম-বিকৃতি সৃষ্টি করিতে হইলে $\frac{F_1}{\cdot 1 \times 20 \times 10^{11}} = \frac{F_2}{\cdot 2 \times 10 \times 10^{11}}$

$$\text{বা,}\quad \frac{F_1}{F_2}=\frac{\cdot 1\times 20\times 10^{11}}{\cdot 2\times 10\times 10^{11}}=1.$$

$$\text{বা,}\quad F_1=F_2$$

অতএব, সম-বিকৃতি সৃষ্টি করিতে ওজনকে দণ্ডের মধ্য বিন্দু হইতে ঝুলাইতে হইবে।

**13.** 2 মিমি· ব্যাসের একটি ইস্পাত তারকে 20°C তাপমাত্রায় দুইটি স্থির বিন্দুর মধ্যে টান দেওয়া হইল। যখন তাপমাত্রা 10°C-এ হ্রাস পাইবে, তখন টানের মান বাহির কর।

ইস্পাতের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ-গুণাঙ্ক = ·000011 প্রতি °C-তে

ইস্পাতের ইয়ং গুণাঙ্ক = $2\cdot1\times10^{12}$ ডাইন/বর্গ-সেমি· [Patna B. Sc. 1955]

মনে করিলাম, 20°C তাপমাত্রায় ইস্পাত তারের দৈর্ঘ্য $=l_{20}$

$$\therefore\quad l_{20}=l_0(1+\alpha.20)$$

$$l_{10}=l_0(1+\alpha.10)$$

$$\therefore\quad l_{20}-l_{10}=l_0[1+20\alpha-1-10\alpha]=l_0\times10\alpha$$

$$\text{অতএব, বিকৃতি}=\frac{l_{20}-l_{10}}{l_{20}}=\frac{l_0\times10\alpha}{l_0[1+20\alpha]}=\frac{10\alpha}{1+20\alpha}.$$

$$=10\alpha[1+20\alpha]^{-1}=10\alpha\text{ ( প্রায় )।}$$

$$\because\quad \text{ইয়ং-গুণাঙ্ক}=\frac{\text{পীড়ন}}{\text{বিকৃতি}}$$

সুতরাং পীড়ন $=2\times10^{12}\times10\times\cdot000011$

$$\text{টান (Tension)}=\pi r^2\times\text{পীড়ন}=\pi r^2\times Y\times10\alpha$$

$$=3\cdot14\times\cdot1\times\cdot1\times2\cdot1\times10^{12}\times10\times\cdot000011$$

$$=7\cdot26\times10^6\text{ dyne.}$$

**14.** 2 মিটার দৈর্ঘ্যের এবং 1 বর্গ-মিমি· প্রস্থচ্ছেদের একটি নমনীয় তারকে A এবং B বিন্দুর মধ্যে একই আনুভূমিক তলে সটান করা হইল। যখন 10 গ্রাম-এর একটি ভরকে উক্ত তারের মধ্য বিন্দুতে ঝুলানো হইল, তখন উক্ত বিন্দু AB রেখার 1 সেমি· নীচে নামিয়া গেল। তারের উপাদানের ইয়ং-গুণাঙ্কের মান নির্ণয় কর।

চিত্রানুসারে, CB-এর বৃদ্ধি $=\sqrt{100^2+1^2}-100=\cdot005$ cm.

BC-তে টান T-এর মান নির্ণয় করিতে হইলে ADBC সামান্তরিকটি সম্পূর্ণ করিতে হইবে।

অতএব, CBD—C বিন্দুর জন্য বলের ত্রিভুজ-সূত্রের কাজ করিবে।

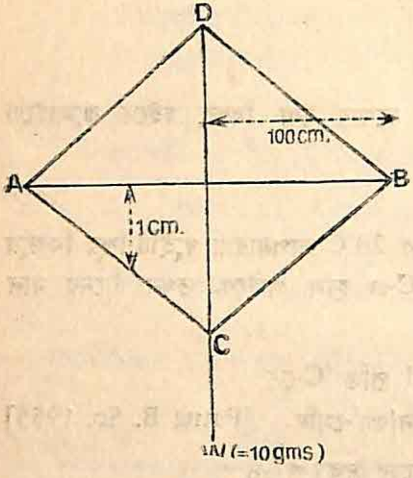



Fig. 72

যেহেতু BD ∥ AC.

$$\therefore \quad \frac{T}{10g} = \frac{BC}{CD} = \sqrt{\frac{100^2 + 1^2}{2}}$$

$$= \frac{100}{2} = 50$$

$$\therefore \quad T = 500\ g$$

$$\therefore \quad \text{পীড়ন} = \frac{500\ g}{\cdot 01} = 50000\ g$$

$$\text{বিকৃতি} = \frac{\cdot 005}{100}$$

$$\therefore \quad Y = \frac{50000\ g \times 100}{\cdot 005}$$

$$= 9\cdot 81 \times 10^{11} \text{ dyne/sq. cm.}$$

15. একটি ইস্পাত দণ্ডকে 500°C তাপমাত্রায় উত্তপ্ত করা হইল। অতঃপর দণ্ডটির দুই প্রান্ত পরস্পর হইতে 1 মিটার দূরে আছে এইরূপ দুইটি বিন্দুর ভিতর আটকাইয়া ঠাণ্ডা হইতে দেওয়া হইল। কত তাপমাত্রায় দণ্ডটি ভাঙ্গিয়া যাইবে, তাহা নির্ণয় কর।

দেওয়া আছে, ইস্পাতের অসহ পীড়ন $= 8 \times 10^9$ dyne/sq.cm ; ইস্পাতের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ-গুণাঙ্ক $= 1\cdot 1 \times 10^{-5}$ per °C ; ইস্পাতের ইয়ং-গুণাঙ্ক $= 2 \times 10^{12}$ dyne/sq. cm.

মনে করিলাম, নির্ণেয় তাপমাত্রা $= t_1$ °C

আমরা জানি যে,

$$\text{দৈর্ঘ্য-প্রসারণ-গুণাঙ্ক } \alpha = \frac{l_2 - l_1}{l_1(t_2 - t_1)}$$

$$\text{অতএব,} \quad l_2 - l_1 = l_1 \alpha (t_2 - t_1)$$

$$\text{সুতরাং, অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি} = \frac{l - l_1}{l_1} = \frac{l_1 \alpha (t_2 - t_1)}{l_1}$$

$$= \frac{100 \times 1\cdot 1 \times 10^{-5}(500 - t_1)}{100}$$

$$= 1\cdot 1 \times 10^{-5}(500 - t_1)$$

এবং অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন = Y × অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি

$$= 2 \times 10^{12} \times 1\cdot 1 \times 10^{-5} \times (500 - t_1)$$

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে,

$$\text{অসহ পীড়ন} = 8 \times 10^9 \text{ dyne/sq. cm.}$$

$$\text{অতএব, } 8 \times 10^9 = 2 \times 10^{12} \times 1{\cdot}1 \times 10^{-5} \times (500 - t_1)$$

$$\text{বা, } 500 - t_1 = \frac{8 \times 10^9}{2 \times 10^{12} \times 1{\cdot}1 \times 10^{-5}} = \frac{8 \times 10^{14}}{2 \times 1{\cdot}1 \times 10^{12}}$$

$$= \frac{8 \times 10^{15}}{22 \times 10^{12}} = \frac{8000}{22} = 363{\cdot}6$$

$$i_1 = 500 - 363{\cdot}6 = 136{\cdot}4\,^\circ\text{C.}$$

**16.** 100 সেমি. দৈর্ঘ্যের এবং 2 মিমি. ব্যাসার্ধের একটি তামার দণ্ডের 1 মিমি. দৈর্ঘ্য-প্রসারণ ঘটাইতে কত বল প্রয়োগ করিতে হইবে, তাহা নির্ণয় কর।

দৈর্ঘ্য-বৃদ্ধির দরুন দণ্ডে যে পরিমাণ শক্তি সঞ্চিত হইবে, তাহা যদি তাপে রূপান্তরিত হয়, তবে দণ্ডের তাপমাত্রা কত বৃদ্ধি পাইবে ?

দেওয়া আছে, $J = 4{\cdot}2 \times 10^7$ erg/cal,

তামার ইয়ং-গুণাঙ্ক $Y = 12 \times 10^{11}$ dyne/sq. cm. ; ঘনত্ব $= 9$ gm/c.c., আপেক্ষিক তাপ $= {\cdot}1$ ।

আমরা জানি যে,

$$\text{ইয়ং-গুণাঙ্ক } Y = \frac{mgL}{\pi r^2 l}. \qquad \text{বা, } m = \frac{Y \times \pi r^2 l}{gL}.$$

$$= \frac{12 \times 10^{11} \times 3{\cdot}14 \times {\cdot}2 \times {\cdot}2 \times {\cdot}1}{980 \times 100}$$

$$= \frac{12 \times 314 \times 2 \times 2 \times 10^{11}}{98 \times 10^8} = 154 \text{ kg.-wt.}$$

অতএব, দৈর্ঘ্য-প্রসারণ ঘটাইতে যে পরিমাণ কার্য করিতে হয়, তাহার পরিমাণ $W = \frac{1}{2} \times$ পীড়ন $\times$ বিকৃতি $\times$ আয়তন $= \frac{1}{2} \times$ সম্প্রসারণকারী বল $\times$ দৈর্ঘ্য-প্রসারণ $=$ $\frac{1}{2} \times 154 \times 10^3 \times 980 \times {\cdot}1 = 77 \times 98 \times 10^3$ ergs.

তাপ-গতিবিদ্যার প্রথম সূত্র অনুসারে আমরা জানি যে,

$$W = JH = Jms(\theta_2 - \theta_1) = J \times \pi r^2 L\ \rho \times S(\theta_2 - \theta_1)$$

$$\text{বা, } \theta_2 - \theta_1 = \frac{W}{J \times \pi r^2 L \rho \times S.}$$

$$= \frac{77 \times 98 \times 10^3}{4{\cdot}2 \times 10^7 \times 3{\cdot}14 \times ({\cdot}2)^2 \times 100 \times 9 \times {\cdot}1} = {\cdot}016\,^\circ\text{C}$$

$$\therefore \text{ নির্ণেয় তাপমাত্রা-বৃদ্ধি} = {\cdot}016\,^\circ\text{C.}$$

## ● আর্কিমিডিসের নীতি এবং আপেক্ষিক গুরুত্ব ●

17. 8 গ্রাম প্রতি সিসি. ঘনত্বের একটি নিরেট ধাতুর ঘনককে জলে সম্পূর্ণরূপে নিমজ্জিত করিয়া সূতার সাহায্যে স্প্রিং-তুলা হইতে ঝুলাইয়া রাখা হইল। স্প্রিং-তুলার পাঠ 875 গ্রাম হইলে ঘনকের ভর এবং আকার নির্ণয় কর। ·8 গ্রাম প্রতি সিসি. ঘনত্বের কেরোসিনে ঘনকটিকে সম্পূর্ণরূপে নিমজ্জিত করিলে স্প্রিং-তুলার পাঠ কত হইবে? [J. E. E. 1964]

মনে করিলাম, ঘনকটির আয়তন $= v$ c.c.

∴ ঘনকটির প্রকৃত ওজন $= v \times 8$ gm.

জলে সম্পূর্ণরূপে নিমজ্জিত করা হইলে, স্থানচ্যুত জলের ওজন $= v \times 1$ gm.

অতএব, আপাত ওজন $= 8v - v = 7v$ gm.

প্রশ্নানুসারে, $7v = 875$ বা, $v = \frac{875}{7} = 125$ c.c.

সুতরাং, ঘনকটির আয়তন $= 125$ c.c.

ঘনকটির দৈর্ঘ্য, প্রস্থ বা উচ্চতা $= \sqrt[3]{125} = 5$ cm.

ঘনকটিকে ·8 গ্রাম প্রতি সিসি. ঘনত্বের কেরোসিনে সম্পূর্ণরূপে নিমজ্জিত করা হইলে অপসারিত কেরোসিনের ওজন

$$= \cdot 8 \times 125 = 100 \text{ gm.}$$

অতএব, কেরোসিনে নিমজ্জিত অবস্থায় স্প্রিং-তুলার পাঠ

= ঘনকটির প্রকৃত ওজন − অপসারিত কেরোসিনের ওজন

$$= 125 \times 8 - 100 = 900 \text{ gm.}$$

18. 2·5 গ্রাম প্রতি সিসি. ঘনত্বের একটি পাথরখণ্ডকে সমুদ্র-জলে সম্পূর্ণ নিমজ্জিত করিয়া স্থিরাবস্থা হইতে ছাড়িয়া দেওয়া হইল। 2 সেকেণ্ড পরে পাথরখণ্ডটি জলে কতদূর নিমজ্জিত হইবে, বাহির কর। জলের ঘর্ষণ উপেক্ষণীয়।

সমুদ্র-জলের আণবিক গুরুত্ব = 1·025 এবং অভিকর্ষজ ত্বরণ = 980 cm/sec². [I. I. T. 1969]

মনে করিলাম, পাথরখণ্ডের আয়তন $= v$ c.c.

অতএব, উহার ওজন $= v \times 2\cdot5 \times 980$ dyne.

অপসারিত সমুদ্র জলের ঊর্ধ্বঘাত $= v \times 1\cdot025 \times 980$ dynes.

∴ পাথরখণ্ডের উপর লব্ধি বল

$$= (v \times 2\cdot5 \times 980 - v \times 1\cdot025 \times 980) \text{ dyne.}$$

মনে করিলাম, নিমজ্জনের ত্বরণ $= f$.

প্রশ্নানুসারে,

$$v \times 980[2\cdot5 - 1\cdot025] = v \times 2\cdot5 \times f.$$

$$\therefore \quad f = \frac{1\cdot475 \times 980}{2\cdot5} \text{ cm/sec}^2$$

$\left(\frac{\rho - \rho'}{\rho}\right) g$

সুতরাং $s = ut + \frac{1}{2} ft^2$

$= 0 + \frac{1}{2} \times \frac{1{\cdot}475 \times 980}{2{\cdot}5} \times (2)^2$

$= 1156{\cdot}4$ cm.

$\therefore$ নির্ণেয় দূরত্ব $= 1156{\cdot}4$ cm.

**19.** ·25 আপেক্ষিক গুরুত্বের একটি কর্কের টুকরা এবং 8·00 আপেক্ষিক গুরুত্বের একটি ধাতুর টুকরা একসঙ্গে বাঁধা হইল। এই সমন্বয় ·8 আপেক্ষিক গুরুত্বের অ্যালকোহলে ভাসে না বা ডুবে না। কর্ক এবং ধাতুর ভরের অনুপাত বাহির কর। [J. E. E. 1982]

মনে করিলাম, কর্ক-টুকরার আয়তন $= V_1$ এবং ধাতু-টুকরার আয়তন $= V_2$

যেহেতু কর্ক এবং ধাতু টুকরার সমন্বয় ·8 আপেক্ষিক গুরুত্বের অ্যালকোহলে ভাসেও না বা ডুবেও না। সুতরাং

$(V_1 \times {\cdot}25 + V_2 \times 8) = (V_1 + V_2){\cdot}8$

বা, ${\cdot}25V_1 + 8V_2 = {\cdot}8V_1 + {\cdot}8V_2$ বা, $[{\cdot}8 - {\cdot}25]V_1 = [8 - {\cdot}8]V_2$

বা, ${\cdot}55V_1 = 7{\cdot}2\,V_2$ বা, $\frac{V_1}{V_2} = \frac{7{\cdot}2}{{\cdot}55}$.

অতএব, ভরের অনুপাত

$$= \frac{m_1}{m_2} = \frac{V_1 \times S_1}{V_2 \times S_2} = \frac{7{\cdot}2 \times {\cdot}25}{{\cdot}55 \times 8} = \frac{9}{22}.$$

**20.** $\rho$ ঘনত্বের একটি বস্তুকে $\rho'$ ঘনত্বের একটি তরলের উপর খুব ধীরে ছেড়ে দেওয়া হইল। যদি $\rho > \rho'$ হয়, তবে প্রমাণ কর যে, বস্তুটি তরলের তলায় $t = \sqrt{\frac{2d\rho}{(\rho - \rho')g}}$ সময়ে পেঁছাইবে। যেখানে $d =$ তরলের গভীরতা,

$g =$ অভিকর্ষজ ত্বরণ।

মনে করিলাম, বস্তুর ভর $= m$। অতএব, উহার আয়তন $V = \frac{m}{\rho}$.

সুতরাং, বস্তুর উপর প্লবতা = বস্তুর আয়তন × তরলের ঘনত্ব × অভিকর্ষজ ত্বরণ

$= V \times \rho' \times g$

$= \frac{m\rho' g}{\rho}$.

কিন্তু আমরা জানি যে, বস্তুর ওজন $= mg$

$\therefore$ বস্তুর উপর নিম্নাভিমুখী ক্রিয়াশীল বল $= mg - \frac{m\rho' g}{\rho}$.

$$= mg\left(1 - \frac{\rho'}{\rho}\right) = mg\left(\frac{\rho - \rho'}{\rho}\right).$$

অতএব, সীসার গুলি এবং জল কর্তৃক উদ্ভূত মোট তাপ

$$H = \cdot 5 + 1000 = 1000\cdot 5 \text{ Calories.}$$

কৃত কার্য $W = n \times mgh = n \times 25 \times 980 \times 100$ erg.

তাপ-গতি-বিদ্যার প্রথম সূত্র হইতে আমরা পাই,

$$W = JH.$$

বা, $n \times 25 \times 980 \times 100 = 4\cdot 2 \times 10^7 \times 1000\cdot 5$

বা, $n = \dfrac{4\cdot 2 \times 10^7 \times 1000\cdot 5}{25 \times 980 \times 100} = 17150.$

6. 60 ঘন-ফুট স্নানের জল একটি গ্যাস বার্নারের সাহায্যে গরম করিতে হইবে। এক ঘন-ফুট গ্যাস জ্বালাইয়া 600 ব্রি. থ. এ. তাপ পাওয়া যায় এবং প্রতি 1000 ঘন-ফুট গ্যাসের মূল্য 95 পয়সা। যদি বার্নারে সৃষ্ট তাপ শতকরা 70 ভাগ জলে পরিবাহিত হয়, তবে ঐ জলকে 55°F হইতে 100°F-এ উত্তপ্ত করিতে কত খরচ হইবে? [J. E. E. 1981]

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে

জলের ভর $= 60 \times 62\cdot 5$ cb.

সুতরাং, প্রয়োজনীয় তাপ $= 60 \times 62\cdot 5 \times (100 - 55)$

$= 60 \times 62\cdot 5 \times 45$ B.Th.U.

শর্তানুসারে, ব্যবহৃত তাপের পরিমাণ $= 60 \times 62\cdot 5 \times 45 \times \dfrac{100}{70}$ B.Th.U.

প্রয়োজনীয় গ্যাসের আয়তন $= \dfrac{60 \times 62\cdot 5 \times 45}{600} \times \dfrac{100}{70}$ cu. ft.

$\therefore$ নির্ণেয় খরচ $= \dfrac{60 \times 62\cdot 5 \times 45}{600} \times \dfrac{100}{70} \times \dfrac{95}{100} = 38$ paise.

7. একটি জলপ্রপাতের উচ্চতা 50 মিটার। জল-পতনের দরুন কৃত কার্যের সম্পূর্ণ অংশটি তাপে রূপান্তরিত হইলে তাপমাত্রা বৃদ্ধির মান বাহির কর। ($J = 4\cdot 2 \times 10^7$ আর্গ/ক্যালরি)। [J. E. E. 1980]

প্রশ্নানুসারে,

তাপ-গতিবিদ্যার প্রথম সূত্র অনুসারে আমরা জানি যে,

$$W = JH$$

যেখানে W → কৃত কার্য ; H → উদ্ভূত তাপ।

অতএব, $mgh = J\, ms(\theta_2 - \theta_1)$

বা, $(\theta_2 - \theta_1) = \dfrac{gh}{J} = \dfrac{980 \times 50 \times 100}{4\cdot 2 \times 10^7} = \cdot 1167$ °C

$\therefore$ নির্ণেয় তাপমাত্রা-বৃদ্ধি $= \cdot 1167$ °C.

**8.** 0°C তাপমাত্রায় পারদের ঘনত্ব 13·5955 গ্রাম/সিসি. ; ইহার আয়তন-প্রসারণ-গুণাঙ্ক ·000061. 60°C তাপমাত্রায় ইহার ঘনত্ব কত ? [J. E. E. 1979]

আমরা জানি যে,

$$\rho_t = \rho_0(1 - \gamma t)$$

বা, $\rho_{60} = 13{\cdot}5955\,[1 - {\cdot}000061 \times 60]$

$= 13{\cdot}546$ gm/c.c.

**9.** একটি গৃহের পরিমাপ হইল 7 মিটার × 5 মিটার × 3 মিটার। ইহার দেওয়ালগুলি 20 সেমি. পুরু ইটের তৈয়ারী। ইহার জানালাগুলি ·5 পুরু কাচের এবং মোট ক্ষেত্রফল 5 বর্গ-সেমি. গৃহের তাপমাত্রা 20°C, যাহা বাহিরের তাপমাত্রা অপেক্ষা বেশী। গৃহের দেওয়ালগুলি এবং জানালাগুলি দিয়া প্রতি মিনিটে প্রবাহিত তাপের পরিমাণ নির্ণয় কর। ইট এবং কাচের পরিবাহিতাঙ্ক যথাক্রমে $12 \times 10^{-4}$ এবং $17 \times 10^{-4}$ সি. জি. এস. একক। [J. E. E. 1978]

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে,

গৃহের দেওয়ালগুলির ক্ষেত্রফল $= 2 \times 7 \times 3 + 2 \times 3 \times 5 = 72$ sq. metre

সুতরাং, ইটের মোট ক্ষেত্রফল $= 72 - 5 = 67$ sq. metre $= 67 \times 10^4$ sq. cm.

অতএব, ইট কর্তৃক পরিবাহিত তাপ

$$Q_1 = \frac{12 \times 10^{-4} \times 67 \times 10^4 \times 20 \times 60}{20} = 4{\cdot}8 \times 10^4 \text{ Calories}$$

কাচের জানালাগুলির ক্ষেত্রফল $= 5$ sq. metre $= 5 \times 10^4$ sq. cm.

অতএব, কাচ কর্তৃক পরিবাহিত তাপ

$$Q_2 = \frac{17 \times 10^{-4} \times 5 \times 10^4 \times 20 \times 60}{{\cdot}5} = 20{\cdot}4 \times 10^4 \text{ Calories.}$$

∴ মোট পরিবাহিত তাপ $Q = Q_1 + Q_2$

$= 4{\cdot}8 \times 10^4 + 20{\cdot}4 \times 10^4$

$= 25{\cdot}2 \times 10^4$ Calories.

**10.** 10 গ্রাম ভর এবং ·1 আপেক্ষিক তাপযুক্ত একটি ইস্পাতের বলকে একটি চুল্লীর ভিতর উত্তপ্ত করা হইল এবং ইহাকে 200 গ্রাম ভর এবং ·09 আপেক্ষিক তাপ যুক্ত 50°C তাপমাত্রায় একটি পুরু তামার পাত্রে তাড়াতাড়ি রাখা হইল এবং সমগ্র ব্যবস্থাটিকে 20 গ্রাম জলসম-বিশিষ্ট একটি ক্যালরিমিটারে স্থানান্তরিত করা হইল। উক্ত ক্যালরিমিটারে 20°C তাপমাত্রার 180 গ্রাম জল ছিল। ক্যালরিমিটারে রক্ষিত থার্মোমিটারটি সর্বোচ্চ তাপমাত্রা 26°C পাঠ দিল। চুল্লীর তাপমাত্রা বাহির কর এবং ক্যালরিমিটারে কোন স্থানীয় স্ফুটন হইবে কিনা, তাহা গণনা দ্বারা দেখাও।

[J. E. E. 1978]

সুতরাং, ত্বরণ $f = \frac{mg\left(\frac{\rho - \rho'}{\rho}\right)}{m} = \frac{g(\rho - \rho')}{\rho}$.

আবার আমরা জানি যে, $s = ut + \frac{1}{2} ft^2$

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে, $u = 0$, $f = \frac{g(\rho - \rho')}{\rho}$, $s = d$

$\therefore \quad d = \frac{1}{2} \times \frac{g(\rho - \rho')}{\rho} \times t^2$ বা, $2\rho d = g(\rho - \rho')t^2$

$\therefore \quad t = \sqrt{\frac{2d\rho}{g(\rho - \rho')}}$.

**21.** বিভিন্ন উপাদানে তৈয়ারী তিনটি ধাতুখণ্ড P, Q এবং R-এর বায়ুতে ওজন যথাক্রমে 16, 20 এবং 22 গ্রাম-ভার। জলে নিমজ্জিত অবস্থায় ইহাদের ওজন যথাক্রমে 14, 18 এবং 20 গ্রাম-ভার। উক্ত ধাতুখণ্ড-তিনটির মধ্যে দুইটি বিশুদ্ধ ধাতু দ্বারা তৈয়ারী এবং অপরটি ঐ দুই ধাতুর মিশ্রণে গঠিত সংকর ধাতুর তৈয়ারী। ধাতুখণ্ড-তিনটির মধ্যে কোনটি সংকর ধাতু দ্বারা তৈয়ারী? উহার উপাদানে ধাতু-দুইটি কি অনুপাতে রহিয়াছে? [J. E. E. 1978]

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে,

P ধাতুখণ্ডের বায়ুতে ওজন = 16 gm, জলে ওজন = 14 gm.

$\therefore$ অপসারিত জলের ওজন = 16 − 14 = 2 gm.

সুতরাং, P ধাতুখণ্ডের আয়তন = 2 c.c.

অনুরূপে, Q ধাতুখণ্ডের আয়তন = 20 − 18 = 2 c.c.

এবং R ধাতুখণ্ডের আয়তন = 22 − 20 = 2 c.c.

অতএব, P ধাতুখণ্ডের ঘনত্ব $= \frac{16}{2} = 8$ gm/c.c.

Q " " " $= \frac{20}{2} = 10$ gm/c.c.

R " " " $= \frac{22}{2} = 11$ gm/c.c.

অতএব, দেখা যাইতেছে যে, Q ধাতুখণ্ডের ঘনত্ব P এবং R ধাতুখণ্ডের মাঝামাঝি বলিয়া উক্ত ধাতুটি সংকর ধাতুর তৈয়ারী।

মনে করিলাম, Q ধাতুতে P-এর পরিমাণ = $x$ gm.

এবং Q ধাতুতে R-এর পরিমাণ = $(20 - x)$ gm.

অতএব, Q ধাতুখণ্ডের আয়তন = P-এর অংশের আয়তন + R-এর অংশের আয়তন

বা, $2 = \frac{x}{8} + \frac{20 - x}{11}$ বা, $x = \frac{16}{3}$ gm.

অতএব, Q ধাতুতে P-এর পরিমাণ $=\dfrac{16}{3}$ gm.

এবং R-এর পরিমাণ $=20-\dfrac{16}{3}=\dfrac{44}{3}$ gm.

অতএব, P এবং R-এর অনুপাত $=\dfrac{16}{3}:\dfrac{44}{3}=4:11.$

22. দেখাও যে, R-ব্যাসার্ধের এবং S-ঘনত্ব-বিশিষ্ট একটি ভারী ধাতুর ফাঁপা গোলককে জলে ভাসিতে হইলে উহার দেওয়ালের বেধ $\dfrac{R}{3S}$ অপেক্ষা কম হওয়া প্রয়োজন। [Nag. U. (I. Sc.) 1952]

মনে করিলাম, ফাঁপা গোলকটির দেওয়ালের বেধ $=x$ এবং ব্যাসার্ধ $=R$

অতএব, গোলকটির আয়তন $=\frac{4}{3}\pi R^3$ ; গোলকটির ফাঁপা অংশের আয়তন $=\frac{4}{3}\pi(R-x)^3$.

$\therefore$ গোলকটির উপাদানের আয়তন $=\frac{4}{3}\pi R^3-\frac{4}{3}\pi(R-x)^3$.

$\therefore$ গোলকটির ওজন $=\frac{4}{3}\pi[R^3-(R-x)^3]\times S$.

এবং গোলকটির সমআয়তন জলের ওজন $=\frac{4}{3}\pi R^3$

ভাসনের শর্তানুসারে, আমরা পাই, $\frac{4}{3}\pi[R^3-(R-x)^3]\times S\leqslant\frac{4}{3}\pi R^3$.

বা, $R^3-(R-x)^3\leqslant\dfrac{R^3}{S}$. বা, $(R-x)^3\geqslant R^3-\dfrac{R^3}{S}$

বা, $R-x\geqslant R\left[1-\dfrac{1}{S}\right]^{\frac{1}{3}}$ বা, $R-x\geqslant R\left[1-\dfrac{1}{3}\cdot\dfrac{1}{S}+\cdots\cdots\right]$

বা, $R-x\geqslant R\left[1-\dfrac{1}{3S}\right]$ বা, $R-x\geqslant R-\dfrac{R}{3S}$

বা, $x\leqslant\dfrac{R}{3S}$.

অতএব $x$-এর মান $\dfrac{R}{3S}$ অপেক্ষা কম হইলে উহা জলে ভাসিবে।

## ● পৃষ্ঠটান ●

23. 10 সেমি. দৈর্ঘ্য, 1·54 সেমি. প্রস্থ এবং ·2 সেমি. বেধের একটি কাচের প্লেটের বায়ুতে ওজন 8·2 গ্রাম। প্লেটটির দৈর্ঘ্য আনুভূমিক রাখিয়া উহাকে খাড়াভাবে জলের ভিতরে অর্ধেক ডুবাইলে উহার আপাত ওজন কত হইবে? জলের পৃষ্ঠটান $=73$ ডাইন/সেমি. [Gorakhpur B. Sc. 1963]

জলে কাচের প্লেটটিকে অর্ধেক ডুবাইলে প্লেট কর্তৃক অপসারিত জল, প্লেটটির উপর ঊর্ধ্বঘাত প্রয়োগ করিবে।

অতএব, ঊর্ধ্বঘাত = অপসারিত জলের ওজন = প্লেটটির আয়তনের অর্ধেক × জলের ঘনত্ব × $g = \frac{1}{2}[10 \times 1{\cdot}54 \times {\cdot}2] \times 1 \times 980 = 1{\cdot}54$ gm.-wt.

এখন, জল এবং স্পর্শরেখার দৈর্ঘ্য $= 2 \times$ ( দৈর্ঘ্য + বেধ ) $= 2 \times (10 + {\cdot}2)$

$$= 2 \times 10{\cdot}2 = 20{\cdot}4 \text{ cm.}$$

অতএব, জলের পৃষ্ঠটানের দরুন নিম্নাভিমুখী বল

$$= \frac{20{\cdot}4 \times 73}{980} = 1{\cdot}51 \text{ gm.-wt.}$$

∴ নীট ঊর্ধ্বঘাত $= 1{\cdot}54 - 1{\cdot}518 = {\cdot}022$ gm.-wt.

∴ প্লেটটির আপাত ওজন = প্লেটটির বায়ুতে ওজন − নীট ঊর্ধ্বঘাত

$$= 8{\cdot}2 - {\cdot}022 = 8{\cdot}178 \text{ gm-wt.}$$

**24.** একটি কাচ-প্লেটের দৈর্ঘ্য 6·0 সেমি· এবং বেধ 2·5 মিমি·। ইহার ধারকে আনুভূমিক এবং বেধকে উল্লম্বভাবে রাখিয়া একটি তুলাযন্ত্রের একটি বাহুতে ঝুলাইয়া রাখা হইল। একটি জলপূর্ণ পাত্রকে এমনভাবে উক্ত কাচ-প্লেটের নীচে রাখা হইল, যাহাতে কাচ-প্লেটের কিছু অংশ জলে নিমজ্জিত হয়। কত উষ্ণতায় প্লেটটি জলে নিমজ্জিত হইলে তুলাযন্ত্রটি আবার আনুভূমিক হইবে? জলের পৃষ্ঠটান = 72 ডাইন/সেমি· [Agra 1958]

এখানে প্লেটের ওজন ছাড়া প্লেটের উপর দুইটি বল ক্রিয়া করে ঃ—

(i) পৃষ্ঠটানের দরুন একটি দূরত্ব বরাবর নিম্নাভিমুখী বল, যাহা প্লেটের দৈর্ঘ্য এবং বেধের যোগফলের দ্বিগুণের সমান।

∴ নিম্নাভিমুখী বল = পৃষ্ঠটান × 2[ দৈর্ঘ্য + বেধ] $= 72 \times 2[6 + {\cdot}25]$

$$= 72 \times 2 \times 6{\cdot}25$$

(ii) জলের ঊর্ধ্বমুখী ঘাত, যাহা প্লেট দ্বারা অপসারিত জলের সমান। মনে করিলাম, $h$ গভীরতা পর্যন্ত প্লেটটি জলে নিমজ্জিত আছে।

∴ ঊর্ধ্বমুখী ঘাত $= h \times 6 \times {\cdot}25 \times 980$

তুলাদণ্ডের বাহুটিকে আনুভূমিক রাখিতে হইলে পৃষ্ঠটানের দরুন নিম্নাভিমুখী বল, জলের ঊর্ধ্বমুখী ঘাত দ্বারা প্রশমিত হইবে।

$$h \times 6 \times {\cdot}25 \times 980 = 72 \times 2 \times 6{\cdot}25$$

বা, $h = \dfrac{72 \times 2 \times 6{\cdot}25}{6 \times {\cdot}25 \times 980} = {\cdot}612$

∴ নির্ণেয় উচ্চতা $= {\cdot}612$ cm.

**25.** কোন মালবাহী জাহাজ সমুদ্র থেকে নদীতে এলে $\alpha$ ইঞ্চি ডুবে যায়। ঐ অবস্থায় সমস্ত মাল নামিয়ে দেওয়ার ফলে, জাহাজটি $\beta$ ইঞ্চি উঠে যায়। আবার জাহাজটি সমুদ্রে গেলে, আরও $\gamma$ ইঞ্চি উঠে যায়। যদি জাহাজের চারপাশের তল উল্লম্ব হয়, তাহলে প্রমাণ কর যে, সমুদ্র-জলের ঘনত্ব$=\dfrac{\beta}{\gamma-\alpha+\beta}$।

ধরা যাক, মালসহ জাহাজের ওজন$=w$,

কেবল মালপত্রের ওজন$=w'$

জাহাজের তলদেশের ক্ষেত্রফল$=A$, সমুদ্র-জলের ঘনত্ব$=\rho$

মালসহ জাহাজটি যখন সমুদ্রে ছিল, তখন যদি $h$-ইঞ্চি ডুবে থাকে,

তাহলে, আর্কিমিডিস-এর সূত্রানুসারে,

$$w=A\times h\times \rho \qquad (1)$$

সমুদ্র থেকে নদীতে এলে, $\alpha$ ইঞ্চি ডুবে যায় ;

এক্ষেত্রে মোট উচ্চতা$=(h+\alpha)$।

∴ আর্কিমিডিস-এর সূত্র প্রয়োগ ক'রে, $w=A(h+\alpha)\times 1$ (2)

মাল নামিয়ে দিলে, জাহাজের ওজন হবে, $(w-w')$।

শর্তানুসারে, জাহাজটি $\beta$ ইঞ্চি উঠে গেল, তখন মোট উচ্চতা$=h+\alpha-\beta$।

আর্কিমিডিস-এর সূত্রানুযায়ী, $w-w'=A(h+\alpha-\beta)\times 1$ (3)

এরপর, মাল ছাড়া, জাহাজটি সমুদ্রে গেলে, আরও $\gamma$ ইঞ্চি উঠে গেল, তখন মোট উচ্চতা$=h+\alpha-\beta-\gamma$।

আর্কিমিডিস-এর সূত্র ব্যবহার ক'রে,

$$w-w'=A(h+\alpha-\beta-\gamma)\rho \qquad (4)$$

(1) ও (2) থেকে, $Ah\rho=A(h+\alpha)\times 1$ (5)

(3) ও (4) থেকে, $A(h+\alpha-\beta)=A(h+\alpha-\beta-\gamma)\rho$

বা, $h+\alpha-\beta=h\rho-(\gamma-\alpha+\beta)$

বা, $\beta=(\gamma-\alpha+\beta)\rho$ [(5) থেকে, $h+\alpha=h\rho$]

বা, $\rho=\dfrac{\beta}{\gamma-\alpha+\beta}$ ( প্রমাণিত )।

**26.** একটি স্থির-লিফ্‌টের উপর রাখা একটি পারদ-ব্যারোমিটার 75 সেমি. পারদ-স্তম্ভ পাঠ দিচ্ছে। এখন লিফ্‌টটি 2 ফুট/সেক.$^2$ ত্বরণ-সহকারে নিচে নামলে, ব্যারোমিটারের পাঠ কত হবে ?

ধরা যাক, ব্যারোমিটারের মোট ভর$=M$

যদি $f$ ত্বরণ-সহকারে ব্যারোমিটারটি নিচের দিকে নামে, তখন লিফ্‌টের ভূমির দ্বারা প্রদত্ত প্রতিক্রিয়া$=R$ হলে, নিউটনের দ্বিতীয় সূত্রানুযায়ী,

$Mg-R=Mf$ বা, $R=M(g-f)$

তাহলে দেখা যাচ্ছে, লিফট্‌টি নিচের দিকে নামার জন্য ত্বরণ কমে যাবে। বায়ু-মণ্ডলের চাপ নির্দিষ্ট ব'লে ($\rho gh$), $h$ অর্থাৎ ব্যারোমিটারের পারদ-স্তম্ভের উচ্চতা বেড়ে যাবে। নির্ণেয় উচ্চতা $= h'$ cm হলে,

$$\rho(g-f).h' = \rho.g.75$$

যেখানে $\rho =$ পারদের ঘনত্ব, $g = 32$ ft/sec$^2$ এবং $f = 2$ ft/sec$^2$.

তাহলে, $(32-2)\times 12\times 2{\cdot}54\times h' = 32\times 12\times 2{\cdot}54\times 75$ বা, $h' = 80$ cm

অতএব, লিফ্‌টটি 2 ft/sec$^2$ সমত্বরণে নিচের দিকে নামলে ব্যারোমিটারের পাঠ হবে $= 80$ cm.

## ● তাপ-বিজ্ঞান ●

1. কোন জলপ্রপাতের উচ্চতা 100 মিটার। জলপ্রপাতের উপরের এবং পাদদেশের মধ্যে উষ্ণতার পার্থক্য নির্ণয় কর। [$J = 4{\cdot}2$ জুল/ক্যালরি ; $g = 980$ সেমি /সেক.$^2$] [J. E. E. 1982]

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে,

কৃত কার্য $W = mgh = m\times 980\times 100\times 100$

এবং উৎপন্ন তাপ $H = ms(\theta_2-\theta_1) = m\times 1(\theta_2-\theta_1)$

তাপ-গতিবিদ্যার প্রথম সূত্রানুসারে, আমরা জানি যে $W = JH$.

অতএব, $m\times 980\times 100\times 100 = 4{\cdot}2\times 10^7\times m\times(\theta_2-\theta_1)$

$$\text{বা,}\quad \theta_2-\theta_1 = \frac{980\times 100\times 100}{4{\cdot}2\times 10^7} = {\cdot}234\ ^\circ C$$

∴ নির্ণেয় উষ্ণতার পার্থক্য $= {\cdot}234^\circ$C.

2. একটি কাচের জানালার ক্ষেত্রফল 1 বর্গ-মিটার ; কাচের বেধ 3 মিমি. ; ঘরের বাহিরের এবং ভিতরের তাপমাত্রা যথাক্রমে $-5^\circ$C এবং $20^\circ$C। কাচের তাপ-পরিবহণ গুণাঙ্ক ·002 সি. জি. এস্. একক হইলে ঘরের ভিতর হইতে কাচের জানালা দিয়া প্রতি সেকেণ্ডে বাহিরে প্রবাহিত তাপের পরিমাণ নির্ণয় কর। [J. E. E. 1982]

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে,

$$\text{প্রবাহিত তাপ } Q = \frac{KA(\theta_2-\theta_1)t}{d}$$

এখানে $K = {\cdot}002$ C.G.S. একক

$A = 1$ sq. metre $= 10^4$ sq. cm.

$\theta_2-\theta_1 = 20^\circ-(-5^\circ) = 25^\circ$C

$t = 1$ sec

$d = 3$ mm. $= {\cdot}3$ cm.

$$Q = \frac{{\cdot}002\times 10^4\times 25}{{\cdot}3} = 1666{\cdot}6 \text{ calories.}$$

3. $-10^\circ C$-এ কঠিন অবস্থায় একটি বস্তুর 10 গ্রাম লওয়া হইল। উহাকে $-2^\circ C$ পর্যন্ত উষ্ণ করিতে 64 ক্যালরি লাগিল ( বস্তুটি তখন কঠিন অবস্থায় ছিল )। বস্তুটিকে $1^\circ C$ এবং $3^\circ C$ ( তরল অবস্থায় ) উষ্ণ করিতে যথাক্রমে 880 এবং 900 ক্যালরি লাগিল। মনে করি, ঐ পদার্থের কঠিন এবং তরল অবস্থায় আপেক্ষিক তাপ যথাক্রমে $S_1$ এবং $S_2$। $(S_1 \neq S_2)$ উহাদের মান নির্ণয় কর। দেখাও যে, গলনের লীনতাপ L এবং গলনাঙ্কের উষ্ণতা $t_m$-এর মধ্যে সম্পর্ক নিম্নরূপ ঃ

$$L = 79 + 0{\cdot}2\ t_m.$$ [J. E. E. 1982]

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে, প্রথম অবস্থায় শোষিত তাপ = 64 Calories

দ্বিতীয় অবস্থায় শোষিত তাপ $= 880 - 64 = 816$ Calories

এবং তৃতীয় অবস্থায় শোষিত তাপ $= 900 - 880 = 20$ Calories.

অতএব প্রথম অবস্থায়, আমরা পাই

$$64 = 10 \times S_1 \times [-2-(-10)] = 80\ S_1 \quad \therefore \quad S_1 = \tfrac{64}{80} = {\cdot}8$$

তৃতীয় অবস্থায়, আমরা পাই

$$20 = 10 \times S_2 \times (3-1) = 20\ S_2 \qquad \therefore \quad S_2 = \tfrac{20}{20} = 1.$$

দ্বিতীয় অবস্থায়, আমরা পাই

$$816 = 10 \times {\cdot}8 \times (t_m + 2) + 10 \times L + 10 \times 1 \times (1 - t_m)$$

$$= 8t_m + 16 + 10L + 10 - 10t_m = 10L - 2t_m + 26$$

বা, $10L = 790 + 2t_m$ বা, $L = 79 + {\cdot}2t_m$.

4. $10^6$ ডাইন/ বর্গ-সেমি· স্থির চাপের দ্বারা একটি গ্যাসের আয়তন 20 লিটার হইতে 10 লিটার-এ কমাইয়া আনা হইল। কতখানি তাপ উদ্ভূত হইল, নির্ণয় কর।

[J. E. E. 1982]

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে, আমরা জানি যে,

কৃত কার্য $W = p.dV = 10^6 \times (20-10) = 10^7 = 10^{10}$ ergs.

তাপ-গতিবিদ্যার প্রথম সূত্র হইতে আমরা পাই,

$$W = JH. \qquad বা, \quad H = \frac{W}{J} = \frac{10^{10}}{4{\cdot}2 \times 10^7} = {\cdot}24 \times 10^3 \text{ Calories.}$$

5. দুই-মুখ-বন্ধ একটি 1 মিটার লম্বা কাচের নলে 25 গ্রাম সীসার গুলি এবং বাকী অংশ 1 লিটার জলে পূর্ণ। নলটিকে খাড়াভাবে ধরিয়া উল্টানো হইল। ফলে সীসার গুলি নলের পুরা দৈর্ঘ্য বরাবর পড়িল। এইরূপে কতবার উল্টাইলে জলের তাপমাত্রা $1^\circ C$ বৃদ্ধি পাইবে ? কাচে যে-তাপ সরবরাহিত হইবে, তাহা উপেক্ষণীয়। সীসার আপেক্ষিক তাপ $= {\cdot}02$ এবং $J = 4{\cdot}2$ জুল/ক্যালরি· [J. E. E. 1981]

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে সীসার গুলি কর্তৃক উদ্ভূত তাপ

$$= m \times S \times (\theta_2 - \theta_1) = 25 \times {\cdot}02 \times 1 = {\cdot}5 \text{ Calorie}$$

জল কর্তৃক উদ্ভূত তাপ $= m_1 S_1 (\theta_2 - \theta_1) = 1000 \times 1 \times 1 = 1000$ Calories.

মনে করিলাম, চুল্লীর তাপমাত্রা $= t^\circ C$

ইস্পাত বল এবং তামার পাত্র কর্তৃক বর্জিত তাপ

$$= 10 \times \cdot 1 \times (t-26) + 200 \times \cdot 09 \times (50-26)$$
$$= (t-26) + 18 \times 24 \text{ Calories.}$$

ক্যালরিমিটার এবং জল কর্তৃক গৃহীত তাপ

$$= 20 \times (26-20) + 180 \times (26-20)$$
$$= 200 \times 6$$
$$= 1200 \text{ Calories.}$$

ক্যালরিমিটারের নীতি অনুসারে, গৃহীত তাপ = বর্জিত তাপ

$\therefore \quad (t-26) + 432 = 1200$ বা, $t = 1200 - 432 + 26 = 794\ ^\circ C$

$\therefore$ চুল্লীর তাপমাত্রা $= 794^\circ C$.

ইস্পাত বলটিকে একটি পুরু তামার পাত্রে ফেলার পর মনে করিলাম, উহাদের তাপমাত্রা $= \theta^\circ C$.

এই অবস্থায় উক্ত বল কর্তৃক বর্জিত তাপ

$$= 10 \times \cdot 1 \times (794 - \ ) = (794 - \theta) \text{ Calories.}$$

তামার পাত্র কর্তৃক গৃহীত তাপ

$$= 200 \times \cdot 09 \times (\theta - 50) = 18(\ -50) \text{ Calories.}$$

ক্যালরিমিটারের নীতি অনুসারে, গৃহীত তাপ = বর্জিত তাপ

$$18(\ -50) = 794 - \theta.$$
$$18\theta - 50 \times 18 = 794 - \theta. \quad \text{বা,} \quad 19\ = 794 + 900 = 1694$$
$$\therefore \ = \frac{1694}{19} = 89 \cdot 1578\ ^\circ C.$$

সুতরাং গণনা দ্বারা দেখা যাইতেছে যে, এখানে কোন স্ফুটন হইবে না। স্থানীয় স্ফুটন হইতে গেলে পাত্রের তাপমাত্রা 100°C অপেক্ষা বেশী হওয়া প্রয়োজন।

**11.** 10 কিগ্রা. ওজনের একটি খালি পাত্রের মধ্যে কিছু সময় ধরিয়া 100°C উষ্ণতার জল-মিশ্রিত স্টীম চালনা করা হইল। ইহাতে পাত্রের উষ্ণতা 15°C হইতে 60°C পর্যন্ত বাড়িল এবং দেখা গেল, উহার মধ্যে 150 গ্রাম জল জমিয়াছে। জল-মিশ্রিত স্টীমের মধ্যে শতকরা কত ভাগ জল ছিল। (স্টীমের লীন তাপ = 540 ক্যালরি/গ্রাম এবং পাত্রের উপাদানের আপেক্ষিক তাপ = ·12) [J. E. E. 1986]

মনে করিলাম, স্টীমের ভর $= m$ gm.

পাত্র কর্তৃক গৃহীত তাপ

$$= 10 \times 1000 \times \cdot 12 \times (60-15) = 1200 \times 45 \text{ Calories.}$$

স্টীম এবং জল কর্তৃক বর্জিত তাপ

$$= m \times 540 + 150 \times (100-60) = 540m + 150 \times 40 \text{ Calories.}$$

ক্যালরিমিটারের নীতি অনুসারে, গৃহীত তাপ = বর্জিত তাপ

$\therefore \quad 1200 \times 45 = 540m + 150 \times 40$

বা, $m = \dfrac{1200 \times 45 - 150 \times 40}{540} = \dfrac{54000 - 6000}{540}$

$= \dfrac{48000}{540} = 88{\cdot}889$ gm.

অতএব, জলের পরিমাণ $= 150 - 88{\cdot}889 = 61{\cdot}111$ gm.

সুতরাং, জলের শতকরা পরিমাণ

$= 61{\cdot}11 \times \dfrac{100}{150}\% = 40{\cdot}74\%$.

12. একটি ইস্পাতের স্কেল 0°C উষ্ণতায় সঠিক পাঠ দেয়। 10°C উষ্ণতায় একটি তামার দণ্ডকে স্কেলে মাপিলে 1·00007 মিটার দেখায়। 0°C উষ্ণতায় তামার দণ্ডের প্রকৃত দৈর্ঘ্য কি, তাহা নির্ণয় কর।

$\alpha_{Cu} = 19 \times 10^{-6}$ per °C ; $\alpha_{Steel} = 12 \times 10^{-6}$ per °C. [J.E.E. 1986]

মনে করিলাম, 0°C তাপমাত্রায় তামার দণ্ডের প্রকৃত দৈর্ঘ্য $= l$ মিটার।

সুতরাং, উহার 10°C তাপমাত্রায় দৈর্ঘ্য

$l_{10} = l\{1 + 19 \times 10^{-6} \times 10\} = l\{1 + 19 \times 10^{-5}\}$ মিটার।

ইস্পাতের স্কেলে 0°C প্রকৃত পাঠ $x$ মিটার হইলে, 10°C তাপমাত্রায় ঐ স্কেলে পাঠ $= x\{1 + 12 \times 10^{-6} \times 10\} = x\{1 + 12 \times 10^{-5}\}$ মিটার

অতএব, 1·00007 মিটার তামার দণ্ড 10°C তাপমাত্রায় ঐ স্কেলে হইবে

$1{\cdot}00007\{1 + 12 \times 10^{-5}\}$ মিটার।

সুতরাং, $l\{1 + 19 \times 10^{-5}\} = 1{\cdot}00007\{1 + 12 \times 10^{-5}\}$

বা, $l = \dfrac{1{\cdot}00007\{1 + 12 \times 10^{-5}\}}{(1 + 19 \times 10^{-5})} = \dfrac{\{1 + 7 \times 10^{-5}\}\{1 + 12 \times 10^{-5}\}}{(1 + 19 \times 10^{-5})}$

$= \dfrac{1 + 19 \times 10^{-5}}{1 + 19 \times 10^{-5}} = 1$ মিটার।

অতএব, 0°C তাপমাত্রায় তামার দণ্ডের প্রকৃত দৈর্ঘ্য $= 1$ মিটার।

13. একটি ধাতব দণ্ডের দুই প্রান্তকে এমনভাবে আবদ্ধ করা হইল যে, ইহার কোনও দিকে সম্প্রসারণ হইতে পারে না। দণ্ডের উষ্ণতা 30°C বৃদ্ধি পাইলে তাপজ পীড়নের মান নির্ণয় কর।

ধাতুর রৈখিক প্রসারণ-গুণাঙ্ক $= 12 \times 10^{-6}$ per °C

ধাতুর ইয়ং-গুণাঙ্ক $= 20 \times 10^{11}$ dyne/sq. cm. [J. E. E. 1986]

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে, তাপজ পীড়ন $= Y\alpha t$

যেখানে $Y \rightarrow$ ধাতুর উপাদানের ইয়ং-গুণাঙ্ক

$\alpha \rightarrow$ ধাতুর রৈখিক প্রসারণ-গুণাঙ্ক

$t \rightarrow$ তাপমাত্রা-বৃদ্ধি।

$\therefore$ তাপজ পীড়ন $= 20 \times 10^{11} \times 12 \times 10^{-6} \times 30$

$= 7{\cdot}2 \times 10^{8}$ dynes/sq. cm.

14. একটি ইস্পাতের এবং একটি তামার দণ্ডের দৈর্ঘ্য 0°C তাপমাত্রায় কত হইলে সকল তাপমাত্রায় ইস্পাতের দণ্ডের দৈর্ঘ্য তামার দণ্ডের দৈর্ঘ্য অপেক্ষা 5 সেমি. বেশী হইবে?

তামা এবং ইস্পাতের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ গুণাঙ্ক যথাক্রমে $1{\cdot}7 \times 10^{-5}$ এবং $1{\cdot}1 \times 10^{-5}$ per 0°C।

[I. I. T. 1975]

মনে করিলাম, 0°C তাপমাত্রায় তামার দণ্ডের দৈর্ঘ্য $= l$ সেমি. এবং 0°C তাপমাত্রায় ইস্পাত দণ্ডের দৈর্ঘ্য $= (l+5)$ সেমি.

মনে করিলাম, উভয় দণ্ডের তাপমাত্রা-বৃদ্ধি $= t$°C.

তামার দণ্ডের দৈর্ঘ্য-বৃদ্ধি $= l\alpha_1 t$ এবং ইস্পাত দণ্ডের দৈর্ঘ্য-বৃদ্ধি $= (l+5)\alpha_2 t$.

প্রশ্নানুসারে, $l \times 1{\cdot}7 \times 10^{-5} \times t = (l+5) \times 1{\cdot}1 \times 10^{-5} \times t$

বা, $\dfrac{l}{l+5} = \dfrac{1{\cdot}1 \times 10^{-5}}{1{\cdot}7 \times 10^{-5}} = \dfrac{11}{17}$

বা, $17l = 11l + 55$ বা, $6l = 55$

বা, $l = \dfrac{55}{6} = 9{\cdot}166 = 9{\cdot}17$

$\therefore$ ইস্পাত দণ্ডের দৈর্ঘ্য $= l + 5 = 9{\cdot}17 + 5 = 14{\cdot}17$ cm.

15. একটি তামার দণ্ডের এক প্রান্তে একই প্রস্থচ্ছেদ বিশিষ্ট অন্য একটি ধাতব দণ্ডের এক প্রান্ত ঝালাই করিয়া একটি যুগ্ম দণ্ড গঠন করা হইল। 25°C তাপমাত্রায় যুগ্ম দণ্ডটির দৈর্ঘ্য 1 মিটার এবং তাহার মধ্যে তামার দণ্ডের দৈর্ঘ্য 30 সেমি. 125°C তাপমাত্রায় যুগ্ম দণ্ডের দৈর্ঘ্য 1·91 মিমি. বৃদ্ধি পায়। যদি যুগ্ম দণ্ডটিকে দুইটি দৃঢ় দেওয়ালের মধ্যে এমনভাবে স্থাপন করা হইল যে, উহার দৈর্ঘ্য-প্রসারণের কোন সুযোগ থাকে না। তাহা হইলে দেখাও যে, তাপমাত্রা-বৃদ্ধির সহিত দণ্ডের কোন অংশই আর বৃদ্ধি পাইতেছে না। দ্বিতীয় দণ্ডটির উপাদানের ইয়ং-গুণাঙ্ক এবং দৈর্ঘ্য-প্রসারণ-গুণাঙ্ক নির্ণয় কর। তামার দৈর্ঘ্য-প্রসারণ-গুণাঙ্ক $\alpha = 1{\cdot}7 \times 10^{-5}$ প্রতি °C-তে এবং ইয়ং-গুণাঙ্ক $Y = 1{\cdot}3 \times 10^{11}$ নিউটন/বর্গ-মি.

[I. I. T. 1979, J. E. E. 1984]

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে, 25°C তাপমাত্রায় যুগ্ম দণ্ডটির দৈর্ঘ্য $= 100$ cm.
এবং তামার দণ্ডের দৈর্ঘ্য $= 30$ cm.

সুতরাং, অপর দণ্ডের দৈর্ঘ্য $= 100 - 30 = 70$ cm.

তামার দণ্ডের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ $= 30 \times 1{\cdot}7 \times 10^{-5} \times (125 - 25)$

$= 5{\cdot}1 \times 10^{-2}$ cm.

এবং অপর দণ্ডের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ $= 70 \times \alpha_2 \times (125 - 25) = 7000\ \alpha_2$

অতএব, যুগ্ম দণ্ডটির মোট দৈর্ঘ্য-প্রসারণ $= (5{\cdot}1 \times 10^{-2} + 7000\ \alpha_2)$ cm.

প্রশ্নানুসারে, $5{\cdot}1 \times 10^{-2} + 7000\ \alpha_2 = {\cdot}191$. বা, $7000\ \alpha_2 = {\cdot}191 - {\cdot}051$

বা, $\alpha_2 = \frac{{\cdot}14}{7000} = {\cdot}00002 = 2 \times 10^{-5}$

অতএব, অপর ধাতুদণ্ডের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ-গুণাঙ্ক $= 2 \times 10^{-5}$ per °C.

(খ) আমরা জানি যে, ইয়ং-গুণাঙ্ক $(Y) = \frac{\text{অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন}}{\text{অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি}}$

বা, অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন $= Y \times$ অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি $= Y \times \frac{\text{দৈর্ঘ্য-বৃদ্ধি}}{\text{প্রাথমিক দৈর্ঘ্য}}$

তামার দণ্ডের ক্ষেত্রে অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন $= Y_1 \times \frac{l_1 \alpha_1 t}{l_1}$

অপর দণ্ডের ক্ষেত্রে অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন $= Y_2 \times \frac{l_2 \alpha_2 t}{l_2}$

প্রশ্নানুসারে, $Y_1 \frac{l_1 \alpha_1 t}{l_1} = Y_2 \frac{l_2 \alpha_2 t}{l_2}$

বা, $Y_1 \alpha_1 = Y_2 \alpha_2$ বা, $Y_2 = \frac{Y_1 \alpha_1}{\alpha}$

বা, $Y_2 = \frac{1{\cdot}3 \times 10^{11} \times 1{\cdot}7 \times 10^{-5}}{2 \times 10^{-5}} = 1{\cdot}105 \times 10^{11}$

অতএব, অপর ধাতুর উপাদানের ইয়ং-গুণাঙ্ক

$= 1{\cdot}105 \times 10^{11}$ Newton/sq. metre.

**16.** একটি লোহদণ্ড এবং একটি তামার দণ্ডের 50°C এবং 450°C তাপমাত্রায় দৈর্ঘ্যের পার্থক্য উভয় ক্ষেত্রেই 2 সেমি.। 0°C তাপমাত্রায় দণ্ড-দুইটির দৈর্ঘ্য কত হইবে, তাহা নির্ণয় কর। লোহের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ-গুণাঙ্ক $= 12 \times 10^{-6}$ প্রতি °C-তে এবং তামার দৈর্ঘ্য-প্রসারণ-গুণাঙ্ক $= 17 \times 10^{-6}$ প্রতি °C-তে. [J. E. E. 1984]

মনে করিলাম, 0°C তাপমাত্রায় লোহ এবং তামার দণ্ডের দৈর্ঘ্য যথাক্রমে $l_1$ এবং $l_2$

প্রশ্নানুসারে, $l_1 - l_2 = 2$ বা, $l_1 = 2 + l_2$

50°C তাপমাত্রায় $l_1(1 + 12 \times 10^{-6} \times 50) - l_2(1 + 17 \times 10^{-6} \times 50) = 2$

$(l_2 + 2)(1 + 12 \times 10^{-6} \times 50) - l_2(1 + 17 \times 10^{-6} \times 50) = 2$

বা, $l_2 + l_2 \times 12 \times 10^{-6} \times 50 + 2 + 2 \times 12 \times 10^{-6} \times 50 - l_2 - l_2 \times 17 \times 10^{-6} \times 50 = 2$

বা, $l_2(12-17)\times 10^{-6}\times 50=-2\times 12\times 10^{-6}\times 50$

বা, $-5l_2=-24$ বা, $l_2=\frac{24}{5}=4\cdot 8$ $\therefore$ $l_1=4\cdot 8+2=6\cdot 8$

অতএব, 0°C তাপমাত্রায় লৌহদণ্ডের দৈর্ঘ্য $(l_1)=6\cdot 8$ cm.

এবং তামা-দণ্ডের দৈর্ঘ্য $(l_2)=4\cdot 8$ cm.

**17.** বেনজিন এবং কাঠের আয়তন-প্রসারণ-গুণাঙ্ক যথাক্রমে $1\cdot 2\times 10^{-3}$ প্রতি °C-তে এবং $1\cdot 5\times 10^{-4}$ প্রতি °C-তে এবং 0 °C তাপমাত্রায় উহাদের ঘনত্ব যথাক্রমে $9\times 10^2$ কিগ্রা/ঘন-মিটার এবং $8\cdot 8\times 10^2$ কিগ্রা/ঘন-মিটার। কোন্ তাপমাত্রায় কাঠ বেনজিনের মধ্যে ঠিক নিমজ্জিত হইবে ? [J. E. E. 1984]

বেনজিনের ক্ষেত্রে $\rho_0=\rho_t(1+\gamma t)$

বা, $9\times 10^2=\rho_t(1+1\cdot 2\times 10^{-3}\times t)$

কাঠের ক্ষেত্রে $\rho_0'=\rho_t'(1+\gamma' t)$

বা, $8\cdot 8\times 10^2=\rho_t'(1+1\cdot 5\times 10^{-4}\times t)$

কাঠ বেনজিনে ঠিক নিমজ্জিত হইতে গেলে, $\rho_t=\rho_t'$

সুতরাং $\frac{9\times 10^2}{(1+1\cdot 2\times 10^{-3}\times t)}=\frac{8\cdot 8\times 10^2}{(1+1\cdot 5\times 10^{-4}\times t)}$

$9+9\times 1\cdot 5\times 10^{-4}\times t=8\cdot 8+1\cdot 2\times 10^{-3}\times 8\cdot 8\times t.$

বা, $9-8\cdot 8=(1\cdot 2\times 10^{-3}\times 8\cdot 8-9\times 1\cdot 5\times 10^{-4})t$

বা, $\cdot 2=(\cdot 01056-\cdot 00135)t$

বা, $t=\frac{\cdot 2}{\cdot 00921}=21\cdot 7155$

$\therefore$ নির্ণেয় তাপমাত্রা $=21\cdot 72$°C.

**18.** 27°C তাপমাত্রায় একটি সীসার গুলি 700 মিটার/সেক বেগে একটি ইস্পাতের ফলককে ধাক্কা দিল এবং ঘর্ষণ-জনিত উদ্ভূত তাপের ফলে সীসা গলিয়া গেল। যদি ধরিয়া লওয়া যায় যে, উৎপন্ন তাপ সীসা ও ইস্পাত—উভয়েই শোষণ করিয়াছে, তবে ইস্পাত ঐ তাপের শতকরা কত অংশ গ্রহণ করিয়াছে ?

সীসার আপেক্ষিক তাপ $=\cdot 03$, উহার গলনাঙ্ক $=327$°C, উহার গলনের লীনতাপ $=5\cdot 4$ ক্যালরি/গ্রাম। [J.E.E. 1984]

মনে করিলাম, গুলিটির ভর $=m$ gm.

অতএব, গুলীটির গতিশক্তি $=\frac{1}{2}mv^2=\frac{1}{2}m(7\times 10^4)^2=\frac{1}{2}m\times 49\times 10^8$ ergs.

তাপ-গতিবিদ্যার প্রথম সূত্র হইতে আমরা জানি যে, W = JH.

সুতরাং, উদ্ভূত তাপ $H=\frac{W}{J}=\frac{m\times 49\times 10^8}{2\times 4\cdot 2\times 10^7}=58\cdot 3\ m$ calories.

এখন গলনের দরুন সীসার গুলি কর্তৃক শোষিত তাপ

$$= m \times \cdot 03 \times (327 - 27) + m \times 5 \cdot 4$$
$$= m \times \cdot 03 \times 300 + m \times 5 \cdot 4$$
$$= 9m + 5 \cdot 4\ m = 14 \cdot 4\ m \text{ calories.}$$

ইস্পাত ফলক দ্বারা শোষিত তাপ $= (58 \cdot 3\ m - 14 \cdot 4\ m) = 43 \cdot 9\ m$ calories.

সুতরাং, ইস্পাত ফলক দ্বারা শোষিত তাপের শতকরা অংশ

$$= \frac{43 \cdot 9\ m}{58 \cdot 3\ m} \times 100 = 75 \cdot 3\%$$

**19.** একটি বাথটবে 6 ঘনফুট জলকে গ্যাস বার্নারের সাহায্যে 55°F হইতে 100°F উষ্ণতা-বৃদ্ধি করা হইল। গ্যাস-দহনে তাপ-উৎপাদন-ক্ষমতা যদি প্রতি ঘনফুটে 600 ব্রি. থা. এ. হয় এবং 1000 ঘনফুট গ্যাসের মূল্য যদি এক টাকা হয়, তবে বাথটবের জল গরম করিতে কত খরচ হইবে ? ধরিয়া লও, শতকরা 70 ভাগ জ্বালানি তাপ উষ্ণতা-বৃদ্ধির কাজে লাগিতেছে। [J. E. E. 1985]

আমরা জানি যে,

1 ঘনফুট জলের ওজন $= 62 \cdot 5$ lbs.

$\therefore$ 6 „ „ „ $= 6 \times 62 \cdot 5$ lbs.

সুতরাং, প্রয়োজনীয় তাপ $= 6 \times 62 \cdot 5 \times (100 - 45) = 6 \times 62 \cdot 5 \times 45$ B.Th.U.

শর্তানুসারে, ব্যবহৃত তাপের পরিমাণ $= 6 \times 62 \cdot 5 \times 45 \times \frac{100}{70}$ B. Th. U.

প্রয়োজনীয় গ্যাসের আয়তন $= \frac{6 \times 62 \cdot 5 \times 45 \times 100}{600 \times 70}$ cu. ft.

1000 cu. ft. গ্যাসের মূল্য 1 টাকা হইলে, প্রয়োজনীয় খরচ

$$= \frac{6 \times 62 \cdot 5 \times 45 \times 100 \times 100}{600 \times 70 \times 1000} = 4 \text{ পয়সা।}$$

**20.** 100°C তাপমাত্রায় 100 গ্রাম স্টীম হইতে 70,000 ক্যালরি তাপ নিষ্কাশিত করিলে পরিণাম ফল কি হইবে ?

বরফ গলনের লীনতাপ $= 80$ ক্যালরি/গ্রাম, স্টীমের লীনতাপ $= 539$ ক্যালরি/গ্রাম [J. E. E. 1985]

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে,

100°C তাপমাত্রায় 100 গ্রাম স্টীম 100°C তাপমাত্রার জলে পরিণত করিতে বর্জিত তাপ $= 539 \times 100 = 53{,}900$ calories.

100°C তাপমাত্রায় 100 গ্রাম জল 0°C তাপমাত্রার জলে পরিণত করিতে বর্জিত তাপ $= 100 \times 100 = 10{,}000$ calories.

$\therefore$ মোট নিষ্কাশিত তাপের পরিমাণ $= (53{,}900 + 10{,}000)$ calories

$$= 63{,}900 \text{ calories.}$$

সুতরাং (70,000 − 63,900) বা 6,100 calories তাপ 0°C তাপমাত্রার জল হইতে নিষ্কাশন করিতে হইবে।

80 calories তাপ নিষ্কাশন করিলে 1 gm বরফ পাওয়া যায়

6100 ... ... ... $\frac{6100}{80}$ gm „ „ „ = 76·25 gm.

অতএব, 76·25 gm বরফ পাওয়া যাইবে এবং জলের পরিমাণ = 100 − 76·25 = 23·75 gm এবং মিশ্রণের তাপমাত্রা = 0°C।

21. বায়ুর উষ্ণতা এবং শিশিরাঙ্ক যথাক্রমে 16·5°C এবং 7·6°C হইলে উহার আপেক্ষিক আর্দ্রতার মান নির্ণয় কর। 7°C, 8°C, 16°C এবং 17°C তাপমাত্রায় জলের S. V. P. যথাক্রমে 7·5, 8·0, 13·5 এবং 14·4 মিমি. Hg. [J.E.E. 1983]

আমরা জানি যে,

$$\text{আপেক্ষিক আর্দ্রতা} = \frac{\text{শিশিরাঙ্কে সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ}}{\text{বায়ুর উষ্ণতায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ}}।$$

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে, বায়ুর উষ্ণতা = 16·5°C

16°C তাপমাত্রায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ = 13·5 mm.

17°C „ „ „ „ „ = 14·4 mm.

1°C তাপমাত্রা বৃদ্ধিতে চাপ বৃদ্ধি = ·9 mm.

5°C „ „ „ „ = $\cdot\frac{9}{2}$ = ·45 mm.

অতএব, 16·5°C তাপমাত্রায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ = (13·5 + ·45) = 13·95 mm.

শিশিরাঙ্ক = 7·6°C

7°C তাপমাত্রায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ = 7·5 mm.

8°C „ „ „ „ „ = 8 mm.

1°C „ বৃদ্ধিতে চাপ-বৃদ্ধি = 8 − 7·5 = ·5 mm.

·6°C „ „ „ „ = $\frac{\cdot 5 \times 6}{10}$ = ·3 mm.

সুতরাং, 7·6°C তাপমাত্রায় সংপৃক্ত জলীয় বাষ্পের চাপ = 7·5 + ·3 = 7·8 mm.

অতএব, আপেক্ষিক আর্দ্রতা = $\frac{7\cdot 8}{13\cdot 95} \times 100\% = 55\cdot 9\%$

22. এস্. টি. পি.-তে কোন আদর্শ গ্যাসের অণুর গড় বর্গ বেগ ·5 কিমি./সেক. ঐ গ্যাসের ঘনত্ব নির্ণয় কর। চাপ অপরিবর্তিত রাখিয়া 21°C তাপমাত্রায় ঐ গ্যাসের ঘনত্ব নিরূপণ কর।

1 বায়ুমণ্ডলীয় চাপ = $10^5$ নিউটন/মিটার$^2$ [J. E. E. 1983]

গ্যাসের গতি-তত্ত্ব হইতে আমরা জানি যে, কোন আদর্শ গ্যাসের S.T.P-তে

মূল গড় বর্গ বেগ $\bar{C} = \sqrt{\frac{3P}{\rho}}$

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে,

$$\cdot 5 \times 13^3 = \sqrt{\frac{3 \times 10^5}{\rho}}$$

বা, $$\rho = \frac{3 \times 10^5}{\cdot 5 \times \cdot 5 \times 10^6} = \frac{3 \times 10^7}{25 \times 10^6}$$

$$= 1\cdot 2 \text{ kg/cu. metre} = 12 \times 10^{-4} \text{ gm/c.c.}$$

আবার আমরা জানি যে, $= \frac{\rho'}{\rho} = \frac{T}{T'}$

এখানে $T = 273^\circ A$

$T' = (273 + 21) = 294^\circ A$

$\rho = 12 \times 10^{-4}$ gm/c.c.

$$\therefore \quad \rho' = \frac{\rho T}{T'} = \frac{12 \times 10^{-4} \times 273}{294} = 11\cdot 1 \times 10^{-4} \text{ gm/c.c.}$$

**23.** একটি ধাতব পিণ্ডের বায়ুতে ওজন 50 গ্রাম। 25°C তাপমাত্রায় কোন তরলে নিমজ্জিত করিলে উহার ওজন হয় 45 গ্রাম। তরলের উষ্ণতা 100°C করা হইলে উহার ওজন হয় 45·1 গ্রাম। ধাতুর দৈর্ঘ্য-প্রসারণ-গুণাঙ্ক $12 \times 10^{-6}$ প্রতি °C-তে হইলে তরলের আয়তন-প্রসারণ-গুণাঙ্ক নির্ণয় কর। [I. I. T 1973]

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে,

25°C তাপমাত্রায় ধাতব পিণ্ডের ওজনের আপাত হ্রাস $= 50 - 45 = 5$ gm.

100°C তাপমাত্রায় ধাতব পিণ্ডের ওজনের আপাত হ্রাস $= 50 - 45\cdot 1 = 4\cdot 9$ gm.

ধাতুর দৈর্ঘ্য-প্রসারণ-গুণাঙ্ক $= 12 \times 10^{-6}$ per °C

সুতরাং, ধাতুর আয়তন-প্রসারণ-গুণাঙ্ক $= 3 \times 12 \times 10^{-6} = 36 \times 10^{-6}$ per °C

তাপমাত্রার বৃদ্ধি $= (100 - 25) = 75$°C.

প্রশ্নানুসারে, উচ্চ তাপমাত্রায় বস্তুর ওজনের আপাত হ্রাস = নিম্ন তাপমাত্রায় বস্তুর ওজনের আপাত হ্রাস × [1 − ( তরলের আয়তন-প্রসারণ-গুণাঙ্ক − বস্তুর উপাদানের আয়তন-প্রসারণ-গুণাঙ্ক ) × তাপমাত্রা বৃদ্ধি ]

$$4\cdot 9 = 5[1 - (\gamma - 36 \times 10^{-6}) \times 75]$$

বা, $$4\cdot 9 = 5 - 5(\gamma - 36 \times 10^{-6}) \times 75$$

বা, $$\gamma - 36 \times 10^{-6} = \frac{5 - 4\cdot 9}{5 \times 75} = 2\cdot 67 \times 10^{-4}.$$

বা, $$\gamma = 2\cdot 67 \times 10^{-4} + 36 \times 10^{-6} = 2\cdot 67 \times 10^{-4} + \cdot 36 \times 10^{-4}$$

$$= 3\cdot 03 \times 10^{-4}$$

সুতরাং, তরলের আয়তন-প্রসারণ-গুণাঙ্ক $= 3\cdot 03 \times 10^{-4}$ per °C.

**24.** একখণ্ড ধাতুর বায়ুতে ওজন 46 গ্রাম। 27°C তাপমাত্রায় 1·24 আপেক্ষিক গুরুত্বের তরলে নিমজ্জিত অবস্থায় ঐ ধাতুখণ্ডের ওজন 30 গ্রাম। তরলের উষ্ণতা 42°C করিলে ধাতুখণ্ডের ওজন হয় 30·5 গ্রাম। 42°C তাপমাত্রায় তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব 1·20। ধাতুর দৈর্ঘ্য প্রসারণ-গুণাঙ্ক-নির্ণয় কর। [I. I. T. 1974]

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে,

27°C তাপমাত্রায় ধাতুখণ্ডের আয়তন $= V_1$

42°C " " " $= V_2$

27°C তাপমাত্রায় অপসারিত তরলের ওজন $= (46-30) = 16$ gm.

$\therefore$ 27°C তাপমাত্রায় আয়তন $V_1 = \frac{16}{1\cdot24}$ c.c.

42°C তাপমাত্রায় অপসারিত তরলের ওজন $= 46 - 30\cdot5 = 15\cdot5$ gm.

$\therefore$ 42°C তাপমাত্রায় আয়তন $V_2 = \frac{15\cdot5}{1\cdot20}$ c.c.

আমরা জানি যে, $V_2 = V_1(1+\gamma t)$

বা, $\frac{15\cdot5}{1\cdot20} = \frac{16}{1\cdot24}[1+\gamma(42-27)]$

বা, $\frac{15\cdot5\times1\cdot24}{16\times1\cdot20} = 1+15\gamma.$

বা, $\frac{19\cdot22}{19\cdot2} = 1+15\gamma.$

বা, $1\cdot00104 - 1 = 15\gamma$ বা, $\cdot00104 = 15\gamma$

বা, $\gamma = \frac{\cdot00104}{15} = \cdot0000694$

$\therefore$ ধাতুর দৈর্ঘ্য-প্রসারণ-গুণাঙ্ক $\alpha = \frac{\gamma}{3} = \frac{\cdot0000694}{3} = \cdot0000231$ per °C.

**25.** স্টোভের উপর একটি কেট্‌লিতে জল ফুটিতেছে। কেটলির তলদেশের ক্ষেত্রফল 300 বর্গ-সেমি· এবং উহার বেধ ·2 গ্রাম। যদি প্রতি মিনিটে 1 গ্রাম বাষ্প উৎপন্ন হয়, তাহা হইলে তলদেশের ভিতরের এবং বাহিরের পৃষ্ঠের উষ্ণতা-পার্থক্য কত, তাহা নির্ণয় কর। কেটলির উপাদানের তাপ-পরিবাহিতাঙ্ক ·5 ক্যাল· সেমি·$^{-1}$ ° সে·$^{-1}$ সেক·$^{-1}$, বাষ্পের লীন-তাপ $= 540$ ক্যাল/গ্রাম. [I. I. T. 1972]

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে, আমরা জানি যে,

$$Q = \frac{KA(\theta_2-\theta_1)t}{d}$$

এখানে $K = \cdot 5$ cal $cm^{-1}$ $°C^{-1}$ $sec^{-1}$ ; $A = 300$ sq. cm. ; $t = 60$ sec. ; $d = \cdot 2$ cm. ; $Q = 540$ cal.

$$\therefore \quad 540 = \frac{\cdot 5 \times 300 \times (\theta_2 - \theta_1) \times 60}{\cdot 2}$$

$$\therefore \quad \theta_2 - \theta_1 = \frac{540 \times \cdot 2}{\cdot 5 \times 300 \times 60} = \cdot 012°C$$

$\therefore$ নির্ণেয় তাপমাত্রার পার্থক্য $= \cdot 012°C$.

26. 75 সেমি· দৈর্ঘ্যের একটি তামার দণ্ডের একটি প্রান্ত একটি 125 সেমি· দৈর্ঘ্যের ইস্পাতের দণ্ডের এক প্রান্তের সহিত সংযুক্ত করা আছে। উভয় দণ্ডের প্রস্থচ্ছেদ বৃত্তাকার এবং ব্যাস 2 সেমি·। তামার এবং ইস্পাতের অপর প্রান্তদ্বয়ের তাপমাত্রা যথাক্রমে 100°C এবং 0°C। দণ্ড-দুইটি অন্তরিত। তামা এবং ইস্পাতের সংযোগ-স্থলের তাপমাত্রা কত? ঐ সংযোগ-স্থল দিয়া প্রতি একক সময়ে পরিবাহিত তাপের পরিমাণ কত?

তামার পরিবাহিতা $= 9 \cdot 2 \times 10^{-2}$ K cal $m^{-1}$ $°C^{-1}$ $sec^{-1}$ এবং ইস্পাতের পরিবাহিতা $= 1 \cdot 1 \times 10^{-2}$ K cal $m^{-1}$ $°C^{-1}$ $sec^{-1}$ [I. I. T 1977]

মনে করিলাম, তামা এবং ইস্পাতের সংযোগ-স্থলের তাপমাত্রা $= \theta$ এবং দণ্ডের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল $= A$.

$$\therefore \quad A = \frac{\pi d^2}{4} = 3 \cdot 14 \times \frac{(\cdot 02)^2}{4} \text{ sq. meter.}$$

তামা-দণ্ড দিয়া প্রতি সেকেণ্ডে পরিবাহিত তাপ

$$Q_1 = \frac{9 \cdot 2 \times 10^{-2} \times A(100 - \theta)}{\cdot 75} \text{ K. cal.}$$

ইস্পাত-দণ্ড দিয়া প্রতি সেকেণ্ডে পরিবাহিত তাপ

$$Q_2 = \frac{1 \cdot 1 \times 10^{-2} \times A(\theta - 0)}{1 \cdot 25} \text{ K. cal.}$$

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে, $Q_1 = Q_2$

$$\frac{9 \cdot 2 \times 10^{-2} \times A \times (100 - \theta)}{\cdot 75} = \frac{1 \cdot 1 \times 10^{-2} \times A(\theta - 0)}{1 \cdot 25}$$

বা, $9 \cdot 2 \times 1 \cdot 25 \times (100 - \theta) = \cdot 75 \times 1 \cdot 1 \times (\theta - 0)$

বা, $9 \cdot 2 \times 1 \cdot 25 \times 100 = \cdot 75 \times 1 \cdot 1 \times \theta + 9 \cdot 2 \times 1 \cdot 25 \times \theta$

বা, $1150 = \cdot 825\theta + 11 \cdot 5\theta$ বা, $12 \cdot 325\theta = 1150$

বা, $\theta = \frac{1150}{12 \cdot 325} = 93 \cdot 31$ $\therefore$ সংযোগ-স্থলের তাপমাত্রা $= 93 \cdot 31°C$

সংযোগ-স্থল দিয়া প্রতি সেকেণ্ডে পরিবাহিত তাপ

$$Q = \frac{9 \cdot 2 \times 10^{-2} \times 3 \cdot 14 \times (\cdot 02)^2 \times (100 - 93 \cdot 31)}{4 \times \cdot 75} = 258 \times 10^{-6} \text{ K. cal.}$$

## ● শব্দ-বিজ্ঞান ●

1. একটি ট্রেন বাঁশি বাজাইতে বাজাইতে একটি প্ল্যাটফর্মের দিকে ঘণ্টায় 90 কিমি. বেগে অগ্রসর হইতেছে। বাঁশির কম্পাঙ্ক 600 C. P. S.। শব্দের বেগ 325 মিটার/সেক. হইলে প্ল্যাটফর্মে দণ্ডায়মান ব্যক্তির নিকট বাঁশির আপাত কম্পাঙ্ক কত, তাহা নির্ণয় কর। [J. E. E. 1986]

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে, বাঁশির আপাত কম্পাঙ্ক $n' = n \times \frac{V}{V - V_s}$

এখানে $n = 600$ C .P. S. ; $V = 325$ metre/second.

$$V_s = 90 \text{ k. m. per hour} = \frac{90 \times 1000}{60 \times 60} = 25 \text{ metre/sec.}$$

অতএব $n' = \frac{325}{325-25} \times 600 = 600 \times \frac{325}{300} = 650$ C. P. S.

2. এক ব্যক্তি একটি পাহাড়ের দিকে 4 মিটার/সেক. বেগে দৌড়াইতে দৌড়াইতে যখন পাহাড় হইতে 2 কিমি. দূরে, তখন বন্দুকের আওয়াজ হইল। শব্দের বেগ 330 মিটার/সেক. হইলে কোথায় এবং কখন সে প্রতিধ্বনি শুনিবে? [J. E. E. 1986]

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে, মনে করিলাম, যে স্থান হইতে ব্যক্তিটি বন্দুক ছুঁড়িয়াছিল, সেই স্থান হইতে $x$ মিটার দূরে এবং গুলী ছোঁড়ার $t$ sec পরে প্রতিধ্বনি শুনিয়াছিল।

অতএব $x = 4 \times t$ ... ... (1)

$4000 - x = 330 \times t$ ... ... (2)

বা, $4000 - 4t = 330t$ বা, $4000 = 334t$ বা, $t = \frac{4000}{334} = 11{\cdot}976$ second.

(1)-নং সমীকরণে $t$-এর মান বসাইয়া আমরা পাই,

$$x = 4 \times 11{\cdot}976 = 47{\cdot}904 \text{ metre}$$

3. 60 সেমি. দৈর্ঘ্যের এবং একই রকমের দুইটি তার একই টানে সনোমিটার-এর উপর রাখা হইল, যাহাতে উহারা প্রতি সেকেণ্ডে 300 কম্পাঙ্ক সৃষ্টি করিতে পারে। হিসাব করিয়া দেখাও যে, একটি তারকে দৈর্ঘ্য কত পরিবর্তন করিলে প্রতি সেকেণ্ডে 5টি স্বরকম্প তৈয়ারী করিতে পারিবে? [J. E. E. 1985]

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে, মনে করিলাম, একটির কম্পাঙ্ক = 300 C. P. S. এবং অপরটির কম্পাঙ্ক = 300 + 5 = 305 C. P. S.

সুতরাং, $300 = \frac{1}{2 \times 60}\sqrt{\frac{T}{m}}$ ; $305 = \frac{1}{2 \times l}\sqrt{\frac{T}{m}}$ এবং $\frac{300}{305} = \frac{l}{60}$

বা, $l = \frac{60 \times 300}{305} = 59{\cdot}0169$ cm.

অতএব, দ্বিতীয় তারটির দৈর্ঘ্য $(60 - 59{\cdot}0169) = {\cdot}9831$ cm হ্রাস করিতে হইবে।

4. একটি 256 কম্পাঙ্ক বিশিষ্ট সুর-শলাকাকে একদিক খোলা কাঠের বাক্সের উপর রাখিয়া উহার আওয়াজ বৃদ্ধি করিতে হইবে (by resonance)। হিসাব করিয়া দেখাও যে, বাক্সটির দৈর্ঘ্য কত হইবে? [J. E. E. 1985]

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে, এক-মুখ-খোলা নলে আওয়াজ বৃদ্ধি করিতে হইলে $l=\frac{V}{4n}$

শব্দের বেগ $V=332$ metre/sec হইলে এবং $n=256$ C. P. S. হইলে

$$l=\frac{33200}{4\times256}=32\cdot42 \qquad \therefore \text{ বাক্সটির দৈর্ঘ্য}=32\cdot42 \text{ cm.}$$

5. একটি নলের এক-মুখ বন্ধ এবং উহার দৈর্ঘ্য 120 সেমি.; এখন একটি 340 কম্পাঙ্ক-বিশিষ্ট কম্পন-শলাকাকে বাজাইয়া ঐ নলের অপর একটি খোলা মুখের উপর ধরা হইল। হিসাব করিয়া দেখাও, নলের কত কম দৈর্ঘ্যে জল ভর্তি করিলে resonance ঘটিবে। [J. E. E. 1985]

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে, প্রথম সমমেলের ক্ষেত্রে $l_1=\frac{3V}{4n}=\frac{3\times33200}{4\times340}=73\cdot24.$

$\therefore$ জলস্তম্ভের উচ্চতা $=120-73\cdot24=46\cdot76$ cm.

দ্বিতীয় সমমেলের ক্ষেত্রে $l_2=\frac{5V}{4n}=\frac{5\times33200}{4\times340}=122$ cm.

নলের দৈর্ঘ্য 120 cm হওয়ায় নলের সর্বনিম্ন দৈর্ঘ্য $=46\cdot76$ cm.

6. একটি অর্গান পাইপের পীচ $0°C$ তাপমাত্রায় 200 হার্জ। বায়ুর উষ্ণতা $20°C$ হইলে উহার পীচের কতখানি পরিবর্তন হইবে? [J. E. E. 1984]
পাইপের প্রসারণ উপেক্ষণীয়।

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে, আমরা জানি যে, $\frac{V_t}{V_0}=\sqrt{\frac{T}{T_0}}$

এখানে $T=20°C=20+273=293°A$ এবং $T_0=0°C=273°A$

সুতরাং $\frac{V_t}{V_0}=\sqrt{\frac{293}{273}}=1\cdot0359$

আবার আমরা জানি যে, $\frac{V_t}{V_0}=\frac{n_t}{n_0}$ বা, $1\cdot0359=\frac{n_t}{200}$

বা, $n_t=200\times1\cdot0359=207\cdot2$ hertz

অতএব, পীচের পরিবর্তন $=207\cdot2-200=7\cdot2$ hertz.

7. সম-প্রস্থচ্ছেদ-বিশিষ্ট একটি কাঠের ব্লক, যাহার প্রস্থচ্ছেদ 10 বর্গ-সেমি., জলের উপর খাড়া হইয়া ভাসমান আছে। জলে নিমজ্জিত অংশের আয়তন 200 সিসি.

ব্লকটিতে সমান চাপ প্রয়োগ করিয়া ছাড়িয়া দিলে উহার দোলনের কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর। [$g=980$ সেমি/সেক$^2$] [J. E. E. 1983]

জলে খাড়াভাবে ভাসমান একটি কাঠের ব্লকের দোলন সরল-দোলগতি-সম্পন্ন হইবে।

এই সরল দোলগতির অন্তরকলন সমীকরণ হইবে $\frac{d^2x}{dt^2}+\omega^2 x=0.$

এবং ইহার দোলনকাল হইবে $T=\frac{2\pi}{\omega}=2\pi\sqrt{l/g}.$

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে, $T=2\pi\sqrt{\frac{200}{10\times 980}}=\frac{2\pi}{7}$

সুতরাং, কাঠের ব্লকের দোলনের কম্পাঙ্ক $n=\frac{1}{T}=\frac{7}{2\pi}$ per sec.

8. কোন সনোমিটার তারের দৈর্ঘ্য যথাক্রমে 30 সেমি. এবং 30·5 সেমি. থাকিলে উভয় ক্ষেত্রেই একটি সুর-শলাকা প্রতি সেকেণ্ডে 3টি স্বরকম্প সৃষ্টি করে। তারের টান একই রাখা হইল। সুর-শলাকার কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর। [J. E. E. 1983]

মনে করিলাম, সুর-শলাকার কম্পাঙ্ক$=n_1$। তার-দুইটির মূল সুরের কম্পাঙ্ক যথাক্রমে $n_1$ এবং $n_2$.

সুতরাং, $n_1=\frac{1}{2l_1}\sqrt{\frac{T}{m}}$ এবং $n_2=\frac{1}{2l_2}\sqrt{\frac{T}{m}}.$

বা, $\frac{n_1}{n_2}=\frac{l_2}{l_1}=\frac{30\cdot5}{30}$ ... ... (1)

আবার, $n_1-n=3$ এবং $n-n_2=3.$

অতএব, $n_1-n_2=6$ ... ... (2)

যেহেতু $\frac{n_1}{n_2}=\frac{305}{300}=\frac{61}{60}=1+\frac{1}{60}.$ ∴ $\frac{n_1}{n_2}-1=\frac{1}{60}$

বা, $\frac{n_1-n_2}{n_2}=\frac{1}{60}$ বা, $\frac{6}{n_2}=\frac{1}{60}$ বা, $n_2=360.$

সুতরাং, $n=3+n_2=3+360=363.$

∴ নির্ণেয় সুর-শলাকার কম্পাঙ্ক$=363$ Hertz.

9. একই দৈর্ঘ্যের তিনটি তার একটি সনোমিটারের উপর বিতত রহিয়াছে। উহাদের আপেক্ষিক ভরের অনুপাত 2 : 8 : 18 এবং উহাদের উপর টানের অনুপাত যথাক্রমে 12 : 12 : 27। উহাদের অনুপ্রস্থ কম্পনের কম্পাঙ্কের অনুপাত নির্ণয় কর। [J. E. E. 1983]

মনে করিলাম, তিনটি তারের আপেক্ষিক ভর যথাক্রমে $m_1$, $m_2$, $m_3$ এবং তারগুলির উপর প্রযুক্ত টানের অনুপাত যথাক্রমে $T_1$, $T_2$, $T_3$.

সুতরাং $m_1 : m_2 : m_3 = 2 : 8 : 18 = 1 : 4 : 9$

$T_1 : T_2 : T_3 = 12 : 12 : 27 = 4 : 4 : 9$

অতএব $n_1 = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T_1}{m_1}} = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{4y}{x}}$ ; $n_2 = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T_2}{m_2}} = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{4y}{4x}}$

$$n_3 = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T_3}{m_3}} = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{9y}{9x}}$$

যেখানে $x$ ও $y$ হইল ভর এবং টানের সাধারণ অনুপাত।

$\therefore \frac{n_1}{n_2} = \frac{2}{1}$ ; $\frac{n_2}{n_3} = 1$ $\therefore n_1 : n_2 : n_3 = 2 : 1 : 1.$

**10.** A এবং B দুইটি সুর-শলাকা একত্রে কম্পিত হইলে প্রতি সেকেণ্ডে 5টি স্বরকম্প উৎপন্ন হয়। কোনও এক টানে একটি সনোমিটার তারের 40 সেমি. দৈর্ঘ্যের কম্পাঙ্ক A সুর-শলাকার সহিত সমসুর এবং B সুর-শলাকার কম্পাঙ্ক সমটানের ঐ তারের 40·5 সেমি. দৈর্ঘ্যের কম্পাঙ্কের সহিত সমসুর। সুর-শলাকাদ্বয়ের কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর। [J. E. E. 1982]

মনে করিলাম, A সুর-শলাকার কম্পাঙ্ক $= n_1$ এবং B সুর-শলাকার কম্পাঙ্ক $= n_2$।

সর্তানুসারে, $n_1 - n_2 = 5.$ ... ... (1)

আবার, টান অপরিবর্তিত থাকার দরুন $\frac{n_1}{n_2} = \frac{l_2}{l_1} = \frac{40·5}{40}$ ... (2)

(1)-নং সমীকরণ হইতে আমরা পাই, $\left(\frac{40·5}{40} - 1\right)n_2 = 5·$

$5n_2 = 5 \times 400$ $n_2 = 400$ $\therefore n_1 = 400 + 5 = 405.$

$\therefore$ A সুর-শলাকার কম্পাঙ্ক = 405 C.P.S. এবং B সুর-শলাকার কম্পাঙ্ক = 400 C.P.S.

**11.** 30 কিমি./ঘণ্টা বেগে প্ল্যাটফর্মের দিকে অগ্রসর হইবার সময় একটি ট্রেন বাঁশী বাজাইতেছিল এবং উৎপন্ন শব্দের কম্পাঙ্ক 1000 ভাইব্রে./সেক.। শব্দের বেগ 300 মিটার/সেক. হইলে, প্ল্যাটফর্মে দণ্ডায়মান কোন ব্যক্তি যে-শব্দ শুনিবে, তাহার আপাত কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর। [J. E. E. 1982]

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে, শ্রোতা—স্থির এবং শব্দের উৎস শ্রোতার দিকে গতিশীল হইলে আপাত কম্পাঙ্ক এই সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়ঃ $n' = \frac{V}{V - V_s} \times n$

$v$ = শব্দের বেগ = 330 metre/sec. ; $n = 1000$ vibrations/sec.

$v_s$ = ট্রেনের বেগ = 30 km/hour = $\frac{30 \times 1000 \times 100}{60 \times 60} = 833 \cdot 33$ cm/sec.

$$n' = \frac{33000}{33000 - 833 \cdot 33} \times 1000 = \frac{33000}{32166 \cdot 67} \times 1000$$
$$= 1025 \cdot 9 \text{ C.P.S.}$$

নির্ণেয় আপাত কম্পাঙ্ক = 1026 C.P.S. ( প্রায় )।

**12.** 0°C তাপমাত্রায় হাইড্রোজেন গ্যাস মাধ্যমে শব্দের বেগ 1200 মিটার/সেক. ; হাইড্রোজেনের সহিত কিছু পরিমাণ অক্সিজেন গ্যাস মিশ্রিত করিলে শব্দের বেগ কমিয়া 500 মিটার/সেক. হয়। মিশ্রণে হাইড্রোজেন এবং অক্সিজেন গ্যাসের আয়তনগত অনুপাত কত, তাহা নির্ণয় কর। [ দেওয়া আছে, অক্সিজেনের ঘনত্ব হাইড্রোজেনের ঘনত্বের 16 গুণ। ]

[J. E. E. 1982]

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে, মনে করিলাম হাইড্রোজেন গ্যাস মাধ্যমে শব্দের বেগ = $v_H$ এবং হাইড্রোজেন ও অক্সিজেন গ্যাস মিশ্রণ মাধ্যমে শব্দের বেগ = $v_M$

$$\therefore \quad v_H = \sqrt{\frac{P}{\rho_H}} \text{ এবং } v_M = \sqrt{\frac{P}{\rho_M}}$$

যেখানে $\rho_H$ এবং $\rho_M$ যথাক্রমে হাইড্রোজেন এবং মিশ্রণের ঘনত্ব।

গ্যাস মিশ্রণের ঘনত্ব $\rho_M = \frac{\rho_H v_1 + \rho_H 16 v_2}{(v_1 + v_2)} = \frac{\rho_H(v_1 + 16v_2)}{(v_1 + v_2)}$

সুতরাং $v_M = \sqrt{\frac{P(v_1 + v_2)}{\rho_H(v_1 + 16v_2)}}$.

অতএব $\frac{v_M}{v_H} = \sqrt{\frac{P(v_1 + v_2)}{\rho_H(v_1 + 16v_2)}} \times \sqrt{\frac{\rho_H}{P}} = \sqrt{\frac{v_1 + v_2}{v_1 + 16v_2}}$

বা, $\frac{500}{1200} = \sqrt{\frac{v_1 + v_2}{v_1 + 16v_2}}$ বা, $\frac{25}{144} = \frac{v_1 + v_2}{v_1 + 16v_2}$

বা, $144v_1 + 144v_2 = 25v_1 + 400v_2$

বা, $119v_1 = 256v_2$

বা, $\frac{v_1}{v_2} = \frac{256}{119}$.

**13.** 300 সেমি. দৈর্ঘ্য এবং 5 সেমি. ব্যাসের একটি খাড়া জলপূর্ণ নলের খোলা মুখের নিকট 256 কম্পাঙ্কের একটি সুর-শলাকা ধরা হইল। নলের নীচের প্রান্ত দিয়া জল ধীরে ধীরে বাহির করিয়া দিলে ও সুর-শলাকাটিকে সতত কম্পমান রাখিলে জলের তলের কোন্ কোন্ অবস্থানে অনুনাদ পরিলক্ষিত হইবে? বায়ুতে শব্দের বেগ = 340 মিটার/সেক. ; প্রান্তিক ত্রুটি = ·6 × নলের ব্যাসার্ধ।

[ J.E.E. 1981 ]

আমরা জানি যে, $v = n\lambda$

বা, $\lambda = \frac{340 \times 100}{256} = 132 \cdot 8$ cm.

প্রথম অনুনাদের ক্ষেত্রে, $\frac{\lambda}{4} = l_1 + x$ যেখানে $x \rightarrow$ প্রান্তিক ত্রুটি।

বা, $l_1 = 33 \cdot 2 - 1 \cdot 5 = 31 \cdot 7$ cm.

দ্বিতীয় অনুনাদের ক্ষেত্রে, $\frac{3\lambda}{4} = l_2 + x.$

বা, $l_2 = \frac{3\lambda}{4} - x = \frac{3 \times 132 \cdot 8}{4} - 1 \cdot 5 = 98 \cdot 1$ cm.

তৃতীয় অনুনাদের ক্ষেত্রে, $\frac{5\lambda}{4} = l_3 + x$

বা, $l_3 = \frac{5\lambda}{4} - x = \frac{5 \times 132 \cdot 8}{4} - 1 \cdot 5 = 164 \cdot 5$ cm.

চতুর্থ অনুনাদের ক্ষেত্রে, $\frac{7\lambda}{4} = l_4 + x$

$\therefore \quad l_4 = \frac{7 \times 132 \cdot 8}{4} - 1 \cdot 5 = 230 \cdot 9$ cm.

পঞ্চম অনুনাদের ক্ষেত্রে, $\frac{9\lambda}{4} = l_5 + x.$

বা, $l_5 = \frac{9\lambda}{4} - x = \frac{9 \times 132 \cdot 8}{4} - 1 \cdot 5 = 297 \cdot 3$ cm.

যেহেতু নলের দৈর্ঘ্য 300 সেমি., সুতরাং পঞ্চম অনুনাদের পর আর কোন অনুনাদ সৃষ্টি হইবে না।

**14.** প্রমাণ অবস্থায় অক্সিজেনে শব্দের বেগ 317 মিটার/সেক. হইলে 30°C তাপমাত্রায় এবং 740 মিমি. পারদস্তম্ভের চাপে হাইড্রোজেনে উহার বেগ নির্ণয় কর।

[J. E. E. 1981]

আমরা জানি যে, $v_t = v_o \left(1 + \frac{t}{273}\right)^{\frac{1}{2}}$

বা, $v_{30} = 317\left[1 + \frac{30}{273}\right]^{\frac{1}{2}} = 317 \sqrt{\frac{303}{273}}.$

মনে করিলাম, অক্সিজেন এবং হাইড্রোজেনের ঘনত্ব $\rho_1$ এবং $\rho_2$

$$\frac{(v_{30})_O}{(v_{30})_H} = \sqrt{\frac{\rho_2}{\rho_1}} = \sqrt{\frac{1}{16}} = \frac{1}{4}.$$

$$(v_{30})_H = 4 \times 317 \times \sqrt{\frac{303}{273}} = 1338 \text{ metre/sec.}$$

**22.** একটি তারকে একটি কঠিন বস্তু দ্বারা সটান করা হইলে কম্পাঙ্কের মান $f$ পাওয়া যায়। যখন বস্তুটিকে জলে নিমজ্জিত করা হয়, তখন কম্পাঙ্কের মান $f_1$ হয়। আবার, যখন বস্তুটিকে তরলে নিমজ্জিত করা হয়, তখন কম্পাঙ্কের মান $f_2$ হয়।

কঠিন বস্তুর এবং তরলের আপেক্ষিক গুরুত্বের মান বাহির কর।

মনে করিলাম, কঠিন বস্তুর ওজন = W gm.

আমরা জানি যে, কম্পাঙ্ক $f=\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$

বা, $f \propto \sqrt{W}$ বা, $f^2 = KW$

যখন বস্তুটিকে জলে নিমজ্জিত করা হইল, তখন বস্তুর আপাত ওজন = $W_1$

সুতরাং $f_1{}^2 = KW_1$

আবার, বস্তুটিকে তরলে নিমজ্জিত করা হইলে বস্তুর আপাত ওজন = $W_2$

সুতরাং $f_2{}^2 = KW_2$

আর্কিমিডিসের নীতি অনুসারে, কঠিন বস্তুর আপেক্ষিক গুরুত্ব

$$=\frac{\text{বস্তুর বায়ুতে ওজন}}{\text{অপসারিত জলের ওজন}}=\frac{W}{W-W_1}=\frac{f^2}{f^2-f_1{}^2}.$$

$$\text{তরলের আপেক্ষিক গুরুত্ব}=\frac{\text{অপসারিত তরলের ওজন}}{\text{অপসারিত জলের ওজন}}=\frac{W-W_2}{W-W_1}=\frac{f^2-f_2{}^2}{f^2-f_1{}^2}.$$

**23.** 20 সেমি. দৈর্ঘ্যের এবং ·2 গ্রাম ভরের একটি তারকে শেষপ্রান্তে একটি কঠিন বস্তু ঝুলাইলে 256 হার্জ কম্পাঙ্ক পাওয়া যায়। যখন উক্ত কঠিন বস্তুটিকে জলে নিমজ্জিত করা হয়, তখন ঐ একই কম্পাঙ্ক পাইতে গেলে তারের দৈর্ঘ্য হ্রাস পাইয়া 19 সেমি. হয়। কঠিন বস্তুর ওজন এবং ঘনত্বের মান বাহির কর।

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে, কম্পাঙ্ক $n=\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$.

এখানে $n=256$ HZ ; $l=20$ cm $=\cdot 2$ metre. ;

$$m=\frac{2\times 10^{-4}}{\cdot 20}=10^{-3}\text{ kg/metre}\cdot$$

টান $T=4l^2mn^2=4\times\cdot 2\times\cdot 2\times 10^{-3}\times 256\times 256=10\cdot 49$ Newton

অতএব, কঠিন বস্তুর ওজন $=\frac{10\cdot 49}{9\cdot 8}=1\cdot 07$ kg.

তারের সহিত এবং অপর শলাকাটি 130 সেমি. দৈর্ঘ্যের তারের সহিত সমসুর উৎপন্ন করে। সুরশলাকাদ্বয়ের কম্পাঙ্কের মান বাহির কর। [J. E. E. 1978]

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে, একটি সুর-শলাকার কম্পাঙ্ক $=n_1$ এবং অপর সুর-শলাকার কম্পাঙ্ক $=n_2$

$$\therefore \; n_1 - n_2 = 4 \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$$

আবার, তারের তির্যক্ কম্পনের দৈর্ঘ্য সূত্র হইতে আমরা পাই, $n_1 l_1 = n_2 l_2$

বা, $\dfrac{n_1}{n_2} = \dfrac{l_2}{l_1} = \dfrac{130}{128} \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$

বা, $\dfrac{n_1}{n_2} - 1 = \dfrac{130}{128} - 1.$ বা, $\dfrac{n_1 - n_2}{n_2} = \dfrac{130-128}{128}$

বা, $\dfrac{4}{n_2} = \dfrac{2}{128}$ বা, $n_2 = \dfrac{128 \times 4}{2} = 256$ C. P. S.

অতএব, $n_1 = 4 + 256 = 260$ C. P. S.

**21.** 1 মিমি. ব্যাসের একটি ইস্পাত তারকে সনোমিটারের উপর স্থাপন করা হইল এবং 10 কিগ্রা-ভার বলের প্রভাবে সটান করা হইল। উক্ত ইস্পাত তারের তির্যক্ এবং অনুদৈর্ঘ্য কম্পনের মূল সুরের কম্পাঙ্কের অনুপাত বাহির কর।

[$Y = 20 \times 10^{11}$ ডাইন/বর্গ-সেমি.] [Bihar 1957]

(ক) তির্যক্ কম্পনের ক্ষেত্রে মূল সুরের কম্পাঙ্ক প্রদত্ত রাশিমালা দ্বারা প্রকাশ করা যায়: $n_1 = \dfrac{1}{2l}\sqrt{\dfrac{T}{m}}$

যেখানে, $m =$ তারের একক দৈর্ঘ্যের ভর $= \pi r^2 l \rho = \pi(\cdot 05)^2 \times 1 \times \rho$

$\rho =$ ইস্পাতের ঘনত্ব এবং $T =$ টান $= 10 \times 10^3 \times 981$ dynes.

$$\therefore \; n_1 = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{10^4 \times 981}{\pi \times (\cdot 05)^2 \times \rho}}$$

(খ) অনুদৈর্ঘ্য কম্পনের ক্ষেত্রে মূল সুরের কম্পাঙ্ক প্রদত্ত সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়: $n_2 = \dfrac{1}{2l}\sqrt{\dfrac{Y}{\rho}}$

যেখানে $Y =$ ইয়ং-গুণাঙ্ক $= 20 \times 10^{11}$ dyne/sq. cm.

$$\therefore \; n_2 = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{20 \times 10^{11}}{\rho}}$$

$$\therefore \; \frac{n_2}{n_1} = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{20 \times 10^{11}}{\rho}} \times 2l\sqrt{\frac{\pi \times (\cdot 05)^2 \times \rho}{10^4 \times 981}} = 40$$

$$\therefore \; n_1 : n_2 = 1 : 40.$$

**15.** একটি ইঞ্জিন 133 C. P. S. কম্পাঙ্কের বংশীধ্বনি করিয়া 60 মিটার/সেক. বেগে একটি পর্বতের দিকে অগ্রসর হইলে পর্বত কর্তৃক একটি প্রতিধ্বনির সৃষ্টি হইল। ইঞ্জিনটির চালক কর্তৃক শ্রুত প্রতিধ্বনির কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর। বায়ুতে শব্দের বেগ =340 মিটার/সেক. [J. E. E. 1981]

মনে করিলাম, বায়ুতে শব্দের বেগ $= V$ এবং শব্দের উৎসের বেগ $= V_s$

প্রশ্নানুসারে, বাঁশী, চালক একই সঙ্গে পর্বতের দিকে অগ্রসর হওয়ায় শ্রুত শব্দের কম্পাঙ্ক $n' = \frac{V+V_s}{V} \times \frac{V}{V-V_s} \times n = \frac{340+60}{340} \times \frac{340}{340-60} \times 133$

$$= \frac{400}{280} \times 133 = 189{\cdot}99$$

$\therefore$ শ্রুত কম্পাঙ্ক = 190 C. P. S. ( প্রায় )।

**16.** বায়ুতে এবং সমুদ্র জলে শব্দের বেগ যথাক্রমে 340 মিটার/সেক. এবং 1435 মিটার/সেক.। একটি ভাসমান জাহাজ হইতে একটি সংকেত পাঠানো হইল। দ্বিতীয় একটি ভাসমান জাহাজ দ্বারা বায়ু এবং জল মাধ্যমে দুইটি সংকেত পাওয়া গেল। দুইটি সংকেতের সময়-ব্যবধান 5 সেকেণ্ড হইলে জাহাজ-দুইটির মধ্যে দূরত্ব কত, তাহা নির্ণয় কর। [J. E. E. 1980]

মনে করিলাম, জাহাজ-দুইটির মধ্যে দূরত্ব $= x$ মিটার।

প্রশ্নানুসারে, $\frac{x}{340} - \frac{x}{1435} = 5$ বা, $x\left[\frac{1435-340}{1435 \times 340}\right] = 5$

বা, $x = \frac{5 \times 1435 \times 340}{1095} = 2227$ মিটার।

**17.** একটি সনোমিটার তার প্রতি সেকেণ্ড 100 কম্পন কম্পিত করে। ইহার দৈর্ঘ্যকে দ্বিগুণ করা হইলে এবং টান অপরিবর্তিত করা হইলে ইহা প্রতি সেকেণ্ডে 150 কম্পন সৃষ্টি করে। নূতন টান এবং আসল টানের মধ্যে সম্পর্ক কি, তাহা বাহির কর। [J. E. E. 1980]

আমরা জানি যে, $n = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}$ যেখানে $n \to$ কম্পাঙ্ক, $l \to$ তারের দৈর্ঘ্য, $T \to$ টান এবং $m \to$ প্রতি একক দৈর্ঘ্যে তারের ভর।

প্রথম ক্ষেত্রে, $100 = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T_1}{m}}$

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে $150 = \frac{1}{2 \times 2l}\sqrt{\frac{T_2}{m}}$

$\therefore \frac{100}{150} = \frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T_1}{m}} \times 4l\sqrt{\frac{m}{T_2}}$ বা, $\frac{2}{3} = 2\sqrt{\frac{T_1}{T_2}}$ বা, $\frac{T_1}{T_2} = \frac{1}{9}$.

**18.** একটি সর্পিল স্প্রিংকে $5 \times 10^5$ ডাইন টানের প্রভাবে 10 সেমি. দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি করা হইল। স্প্রিং-এর তলদেশে কত ভার যুক্ত করিতে হইবে, যাহাতে স্প্রিংটিকে টানিয়া ছাড়িয়া দিলে প্রতি সেকেণ্ডে দুইবার পূর্ণ দোলন সম্পন্ন করিবে, যখন কম্পন-বিস্তার 1 সেমি. হইবে, তখন উহার সর্বোচ্চ বেগের মান নির্ণয় কর। [J. E. E. 1979]

একটি ভারযুক্ত সর্পিল স্প্রিং-এর দোলন সরল-দোলগতি-সম্পন্ন হইবে

$$\frac{d^2x}{dt^2}+\omega^2 x=0$$

এবং ইহার দোলনকাল $T=\frac{2\pi}{\omega}=2\pi\sqrt{\frac{\text{সরণ}}{\text{ত্বরণ}}}$

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে, $T=\frac{1}{2}$ sec., ত্বরণ $=\frac{\text{বল}}{\text{ভর}}=\frac{5\times 10^5}{m}$ cm/sec., সরণ $=10$ cm.

$$\therefore \frac{1}{2}=2\pi\sqrt{\frac{10\times m}{5\times 10^5}} \quad \text{বা,} \quad \frac{1}{4}=4\pi^2\ \frac{m}{5\times 10^4}.$$

$$\text{বা,} \quad m=\frac{5\times 10^4}{16\pi^2}=317 \text{ gm.}$$

এখানে সর্বোচ্চ গতিশক্তি $=\frac{1}{2}mv_{max}^2=m\omega^2a^2=ma^2\times\frac{4\pi^2}{T^2}$

$$\therefore \quad v_{max}^2=\frac{8\pi^2a^2}{T^2}=\frac{8\times 9{\cdot}86\times 1}{\left(\frac{1}{2}\right)^2}=32\times 9{\cdot}86$$

$$\therefore \quad v_{max}=\sqrt{32\times 9{\cdot}86}=17{\cdot}76 \text{ cm/sec.}$$

**19.** একটি তারকে ·04% দ্বারা স্থিতিস্থাপক ভাবে সটান করা হইল। উক্ত তারে অনুদৈর্ঘ্য এবং তির্যক তরঙ্গের অনুপাত বাহির কর। [J. E. E. 1978]

মনে করিলাম, অনুদৈর্ঘ্য তরঙ্গের বেগ $=V_1$ এবং তির্যক তরঙ্গের বেগ $=V_2$

আমরা জানি যে, $V_1=\sqrt{\frac{Y}{\rho}}=\sqrt{\frac{T}{\alpha\rho}\cdot\frac{L}{l}}$ এবং $V_2=\sqrt{\frac{T}{m}}=\sqrt{\frac{T}{\alpha\rho}}$.

$$\therefore \quad \frac{V_1}{V_2}=\sqrt{\frac{T}{\alpha\rho}\cdot\frac{L}{l}}\times\sqrt{\frac{\alpha\rho}{T}}=\sqrt{\frac{L}{l}}=\sqrt{\frac{100}{\cdot 04}}=50\cdot$$

**20.** দুইটি সুর-শলাকাকে যুগপৎভাবে ধ্বনিত করা হইলে প্রতি সেকেণ্ডে 4টি স্বরকম্পের সৃষ্টি হয়। একটি সুর-শলাকা স্থির টানের প্রভাবে 128 সেমি. দৈর্ঘ্যের

$$\text{আপেক্ষিক গুরুত্ব} = \frac{\text{বস্তুর বায়ুতে ওজন}}{\text{অপসারিত জলের ওজন}} = \frac{l^2}{l^2 - l_1{}^2} = \frac{20 \times 20}{20 \times 20 - 19 \times 19}$$

$$= \frac{400}{39} = 10{\cdot}23.$$

∴ কঠিন বস্তুর ঘনত্ব $= 1{\cdot}023 \times 10^4$ kg/metre$^3$.

**24.** একটি চলমান ক্ষুরধার কর্তৃক দুই অংশে বিভক্ত একটি সনোমিটার তারের দৈর্ঘ্যের পার্থক্য 2 মিমি. এবং উহাদের দুই অংশ একই সঙ্গে কম্পিত করিলে প্রতি সেকেণ্ডে 1টি স্বরকম্পের সৃষ্টি করে। সনোমিটার তারের মোট দৈর্ঘ্য যদি 1 মিটার হয়, তবে তারের দুই অংশের কম্পাঙ্ক নির্ণয় কর।

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে, সনোমিটার তারের মোট দৈর্ঘ্য = 1 metre = 100 cm.

দুই অংশের দৈর্ঘ্যের পার্থক্য = 2 mm. = ·2 cm.

অতএব, একটি অংশের দৈর্ঘ্য $l_1 = \frac{100 - {\cdot}2}{2} = 49{\cdot}9$ cm.

এবং অপর অংশের দৈর্ঘ্য $l_2 = 100 - 49{\cdot}9 = 50{\cdot}1$ cm.

সটান তারে তির্যক কম্পনের সূত্র হইতে আমরা পাই, $n_1 l_1 = n_2 l_2$

$$49{\cdot}9\, n_1 = 50{\cdot}1\, n_2 \quad \ldots \quad \ldots \quad (1)$$

আবার, $n_1 - n_2 = 1 \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$

বা, $n_1 = 1 + n_2$

সুতরাং $49{\cdot}9(1 + n_2) = 50{\cdot}1\, n_2$

বা, $49{\cdot}9 = {\cdot}2\, n_2$ বা, $n_2 = \frac{49{\cdot}9}{{\cdot}2} = 249{\cdot}5$

এবং $n_1 = 1 + n_2 = 1 + 249{\cdot}5 = 250{\cdot}5$.

**25.** 48 সেমি. দীর্ঘ একটি নলের দুই-মুখ খোলা। ইহার মূল সুরের কম্পাঙ্ক 320 হার্জ, শব্দের বেগ 320 মিটার/সেক. হইলে নলের ব্যাস নির্ণয় কর। নলের এক-মুখ হঠাৎ বন্ধ করিয়া দিলে মূল সুরের কম্পাঙ্ক কত হইবে? [I. I. T. 1980]

আমরা জানি যে, খোলা নলের ক্ষেত্রে মূল সুরের কম্পাঙ্ক $n = \frac{V}{2(l + 2x)}$

যেখানে $V \rightarrow$ শব্দের বেগ, $l \rightarrow$ নলের দৈর্ঘ্য, $x \rightarrow$ নলের প্রান্তিক ত্রুটি

অতএব, $320 = \frac{320}{2({\cdot}48 + 2x)}$

বা, $\cdot 48+2x=\cdot 5$ বা, $x=\cdot 01$ metre $=1$ cm.

যেহেতু $x=\cdot 6r=\cdot 3d$ বা, $d=\frac{x}{\cdot 3}=\frac{1}{\cdot 3}=3\frac{1}{3}$ cm.

আবার, বদ্ধ নলের ক্ষেত্রে $n=\frac{V}{4(l+x)}=\frac{320}{4(\cdot 48+\cdot 01)}=163\cdot 3$ C.P.S.

**26.** একটি সনোমিটার তারের একপ্রান্ত আবদ্ধ এবং অপর প্রান্তে একটি নিরেট ভর M চাপাইয়া তারটিকে সটান করা হইল। দেখা গেল যে, তারের 70 সেমি· দৈর্ঘ্যকে কম্পিত করিলে মূল সুর উৎপন্ন হয়। M ভরকে সম্পূর্ণরূপে জলে নিমজ্জিত করিলে ঐ মূল সুর উৎপন্ন করার জন্য তারের দৈর্ঘ্য 5 সেমি· পরিবর্তন করিতে হয়। তারের প্রান্ত হইতে ঝুলানো M ভরের ঘনত্ব নির্ণয় কর। [ I. I. T. 1972 ]

তারের তির্যক কম্পনের ক্ষেত্রে আমরা জানি যে, মূল সুরের কম্পাঙ্ক

$$n=\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}=\frac{1}{2\times 70}\sqrt{\frac{T_1}{m}}=\frac{1}{140}\sqrt{\frac{T_1}{m}} \quad \cdots \quad (1)$$

M ভরটিকে জলে নিমজ্জিত করা হইলে,

$$n=\frac{1}{2\times 65}\sqrt{\frac{T_2}{m}}=\frac{1}{130}\sqrt{\frac{T_2}{m}} \quad \cdots \quad (2)$$

(1)-নং এবং (2)-নং সমীকরণ দ্বয়কে ভাগ করিয়া আমরা পাই,

$$1=\frac{130}{140}\sqrt{\frac{T_1}{T_2}} \qquad \text{বা,} \quad \frac{T_1}{T_2}=\frac{196}{169}.$$

বা, $$\frac{T_1}{T_2}=\frac{Mg}{\left(M-\frac{M}{\rho}\right)g}=\frac{\rho}{\rho-1}$$

বা, $\frac{\rho}{\rho-1}=\frac{196}{169}$ বা, $\rho=7\cdot 26$ gm/c.c.

**27.** একটি তার $y=5\sin\frac{\pi x}{3}\cos 40\pi t$ সমীকরণ অনুযায়ী কম্পিত হয়। যেখানে $x$ এবং $y$ সেমি.-তে এবং $t$ সেকেণ্ডে প্রকাশিত হয়।

(ক) দুইটি তরঙ্গের উপরিপাতনের ফলে বিস্তার এবং বেগের মান নির্ণয় কর।

(খ) দুইটি সন্নিহিত নিস্পন্দ বিন্দুর মধ্যে দূরত্ব কত ?

(গ) $x=1\cdot 5$ সেমি· এবং $t=\frac{9}{8}$ সেকেণ্ডে তারের কণার বেগ নির্ণয় কর।

[ Meerut 1974, Gorakhpur 1975, 1977 ]

মনে করিলাম, দুইটি তরঙ্গের সমীকরণ হইল নিম্নরূপ :

$$y_1 = a \sin\frac{2\pi}{\lambda}(\nu t - x) \text{ এবং } y_2 = -a \sin\frac{2\pi}{\lambda}(\nu t + x)$$

উপরিপাতনের নীতি অনুসারে স্থাণু-তরঙ্গের লব্ধি সরণের মান

$$y = y_1 + y_2 = a \sin\frac{2\pi}{\lambda}(\nu t - x) - a \sin\frac{2\pi}{\lambda}(\nu t + x)$$

$$= 2a \sin\frac{2\pi x}{\lambda} \cos\frac{2\pi \nu t}{\lambda} \quad \cdots \quad \cdots \quad (1)$$

যেখানে $a \rightarrow$ বিস্তার এবং $\nu \rightarrow$ প্রত্যেকটি উপাংশ-তরঙ্গের বেগ।

(ক) প্রদত্ত তরঙ্গ-সমীকরণটি হইল

$$y = 5 \sin\frac{\pi x}{3} \cos 40\,\pi t.$$

$$= 2(2\cdot5) \sin\frac{2\pi x}{6} \cos\frac{2\pi(120)t}{6} \quad \cdots \quad (2)$$

(1)-নং এবং (2)-নং সমীকরণ তুলনা করিয়া আমরা পাই,

বিস্তার $a = 2\cdot5$ cm. ; বেগ $\nu = 120$ cm/sec. ; তরঙ্গদৈর্ঘ্য $\lambda = 6$ cm.

(খ) দুইটি সন্নিহিত নিস্পন্দ বিন্দুর মধ্যে দূরত্ব $= \frac{\lambda}{2} = \frac{6}{2} = 3$ cm.

(গ) যেহেতু $y = 5 \sin\frac{\pi x}{3} \cos 40\,\pi t.$

$t$-এর সাপেক্ষে অন্তরকলন করিয়া আমরা পাই,

$$\frac{dy}{dt} = -200\,\pi \sin\frac{\pi x}{3} \sin 40\,\pi t.$$

অতএব, কণার বেগ $= -200\pi \sin\frac{\pi x}{3} \sin 40\,\pi t.$

$x = 1\cdot5$ cm এবং $t = \frac{9}{8}$ sec হইলে,

$$\text{কণার বেগ} = -200\pi \sin\frac{\pi \times 1\cdot5}{3} \sin 40\pi\,\frac{9}{8}$$

$$= -200\pi \sin\frac{\pi}{2} \sin 45\pi = -200\pi \sin\frac{\pi}{2}\,0 = 0.$$

$[\because \sin 45\pi = 0.]$

**28.** একটি তারকে একটি টানের প্রভাবে $n$ কম্পাঙ্কে কম্পিত করা হইল। যখন টানকে 2 কিগ্রা-ভার. দ্বারা বৃদ্ধি করা হইল, তখন কম্পাঙ্ক $\frac{3}{2}n$ হইল। আসল টানের মান বাহির কর। [Mysore 1981]

তির্যক টানের কম্পন-সম্পর্কিত সূত্র হইতে আমরা জানি যে,

$$n \propto \sqrt{T}. \qquad \text{বা,} \quad n = K\sqrt{T} \qquad \cdots \quad (1)$$

যেখানে K → ধ্রুবক।

এখন টানকে বৃদ্ধি করিয়া T + 2 করা হইলে কম্পাঙ্ক হইবে $\frac{3}{2}n$.

$$\therefore \frac{3}{2}n = K\sqrt{T+2} \qquad \cdots \quad (2)$$

(2) ÷ (1) করিয়া আমরা পাই, $\frac{3}{2} = \sqrt{\frac{T+2}{T}}$.

বা, $\frac{9}{4} = \frac{T+2}{T}$. বা, $9T = 4T + 8$

বা, $T = \frac{8}{5} = 1{\cdot}6$ kg-wt.

**29.** একটি বন্ধ নলের প্রথম উপসুরের কম্পাঙ্ক একটি খোলা-নলের প্রথম উপসুরের কম্পাঙ্কের সমান। নলের দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। খোলা নলের মূল সুরের কম্পাঙ্ক = 300 ; শব্দের বেগ = 330 metre/sec.

মনে করিলাম, বন্ধ নলের দৈর্ঘ্য $= l$ ; খোলা নলের দৈর্ঘ্য $= l'$ এবং বায়ুতে শব্দের বেগ = V.

খোলা নলের ক্ষেত্রে আমরা জানি যে, $n = \frac{V}{2l'}$

বা, $l' = \frac{V}{2n} = \frac{33000}{2 \times 300} = 55$ cm.

প্রশ্নানুসারে, বন্ধ নলের প্রথম উপসুরের কম্পাঙ্ক খোলা নলের প্রথম উপসুরের কম্পাঙ্কের সমান।

সুতরাং, $\frac{3V}{4l} = \frac{2V}{2l'}$ বা, $l = \frac{3}{4}l' = \frac{3}{4} \times 55 = 41{\cdot}25$ cm.

**30.** কোন পাইলট পৃথিবীপৃষ্ঠের সমান্তরালে প্লেনে করিয়া প্রতি ঘণ্টায় 120 মাইল বেগে যাইতেছিলেন। পাইলট প্লেন হইতে একটি বন্দুক ছুঁড়িলেন এবং মাটি হইতে ইহার প্রতিধ্বনি 3 সেকেন্ড পরে শুনিলেন। যদি বায়ুতে শব্দের বেগ 1120 ফুট/সেক. হয়, তবে পৃথিবী-পৃষ্ঠ হইতে প্লেনের উচ্চতা নির্ণয় কর।

মনে করিলাম, প্লেনের উচ্চতা $= h$

অতএব, আমরা জানি যে, $h = \frac{t}{2}\sqrt{V^2 - v^2}$

যেখানে প্লেনের বেগ $= v$, শব্দের বেগ = V

মূল শব্দ এবং প্রতিধ্বনির অন্তবর্তী সময় $= t$.

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে,

$V=1120$ ft/sec. $t=3$ second. $v=\frac{120\times1760\times3}{60\times60}=176$ ft/sec

$$\therefore \quad h=\frac{t}{2}\sqrt{V^2-v^2}=\frac{3}{2}\sqrt{(1120)^2-(176)^2}$$

$$=\frac{3}{2}\sqrt{1254400-30976}=\frac{3}{2}\sqrt{1223424}$$

$$=\frac{3}{2}\times1106{\cdot}085=1659{\cdot}127 \text{ ft.}$$

$\therefore$ নির্ণেয় প্লেনের উচ্চতা $=1659{\cdot}127$ ft.

**31.** 9 গ্রাম/সিসি· ঘনত্ব বিশিষ্ট একটি তারকে 100 সেমি· দূরত্বে অবস্থিত দুইটি অবলম্বনে বাঁধা হইল এবং এমন টান প্রযুক্ত করা হইল, যাহার ফলে তারের দৈর্ঘ্য ·05 সেমি· পরিমাণ বৃদ্ধি পাইল। তারের তির্যক কম্পনের ন্যূনতম মান নির্ণয় কর। তারের উপাদানের ইয়ং-গুণাঙ্ক $=9\times10^{11}$ ডাইন/বর্গ-সেমি. [I. I. T. 1975]

তারের তির্যক কম্পনের সূত্র হইতে আমরা জানি যে,

$$n=\frac{1}{2l}\sqrt{\frac{T}{m}}.$$

যেখানে $T$ = টান = অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন $\times$ তারের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল ( )

$m$ = তারের একক দৈর্ঘ্যে ভর $=\alpha\, l\, \rho$

$$\therefore \quad \frac{T}{m}=\frac{\text{অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন}\times\alpha}{\alpha\, l\, \rho}=\frac{\text{অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন}}{l\,\rho}$$

আবার আমরা জানি যে,

$$\text{ইয়ং-গুণাঙ্ক } (Y)=\frac{\text{অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন}}{\text{অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি}}\text{।}$$

বা, অনুদৈর্ঘ্য পীড়ন $=Y\times$ অনুদৈর্ঘ্য বিকৃতি

$$=Y\times\frac{\text{দৈর্ঘ্য-বৃদ্ধি}}{\text{প্রাথমিক দৈর্ঘ্য}}=9\times10^{11}\times\frac{\cdot05}{100}$$

$$\therefore \quad \frac{T}{m}=\frac{9\times10^{11}\times\cdot05}{100\times9}$$

সুতরাং

$$n=\frac{1}{2\times100}\sqrt{\frac{9\times10^{11}\times\cdot05}{100\times9}}$$

$$=35{\cdot}36 \text{ C. P. S.}$$

# আলোক-বিজ্ঞান
## [ Light ]

66. দীপন-মাত্রা এবং দীপন-প্রাবল্য কাকে বলে ? বিন্দু-আলোক-উৎসের ক্ষেত্রে ইহাদের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন কর। লুমেন এবং লাক্সের মধ্যে পার্থক্য কি ? দীপ্তিমিতির মূল নীতি ব্যাখ্যা কর।

[ Define Illumination and Luminous Intensity. How are they related in case of point source ? Distinguish between Lumen and Lux. Explain the principle of photometry. ]

● **দীপনমাত্রা ( Illumination ) :**

**সংজ্ঞা :** কোন আলোকিত তলের প্রতি একক ক্ষেত্রফলের উপর প্রতি সেকেণ্ডে যে পরিমাণ আলোকশক্তি আপতিত হয়, তাকে ঐ তলের দীপন-মাত্রা বলে। ইহাকে E দ্বারা সূচিত করা হয়। গণিতের ভাষায় দীপনমাত্রা

$$E = \frac{dF}{ds}.$$

যেখানে $dF$ = প্রতি সেকেণ্ডে আপতিত আলোকপ্রবাহের পরিমাণ এবং $ds$ = কোন তলের একটি নির্দিষ্ট বিন্দুতে ক্ষেত্রফল ( fig. 73 )।

● **দীপন-প্রাবল্য বা দীপন-শক্তি ( Luminous Intensity ) :**

**সংজ্ঞা :** আলোকের কোন বিন্দু-উৎস থেকে কোন নির্দিষ্ট দিকে প্রতি সেকেণ্ডে একক ঘনকোণে যে পরিমাণ আলোক-শক্তি নির্গত হয়, তাকে ঐ অভিমুখে ঐ উৎসের দীপন-প্রাবল্য বা দীপন-শক্তি বলে। ইহাকে I দ্বারা সূচিত করা হয়।

মনে করা হ'ল, O (fig. 73) একটি বিন্দু উৎস ; $ds$ = ক্ষুদ্র ক্ষেত্রফল ; $dF$ হ'ল $ds$ বরাবর আলোক-প্রবাহ। $d\omega$ হ'ল O বিন্দুতে $ds$ দ্বারা সৃষ্ট ঘনকোণ।

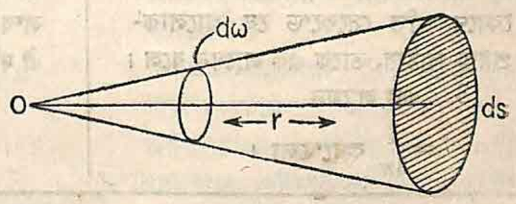



Fig. 73

অতএব, দীপন-প্রাবল্য

$$I = \frac{dF}{d\omega}.$$

অবস্থানে আনা হ'ল। তাহলে ON অভিলম্ব ON' স্থানে চলে যাবে। ধরা যাক, তখন OB প্রতিফলিত রশ্মি OB' স্থানে সরে গেল। $\angle BOB'$ কত, সেটা নির্ণয় করতে হবে। এখন, $\angle NON' = \angle MOM' = \theta$ ; অতএব, L'M' অবস্থানে আপতন কোণ$= \angle AON' = \alpha + \theta$.

$\therefore \quad \angle B'ON' = \angle AON' = (\alpha + \theta) \qquad [\because \angle i = \angle r]$

এখন, $\angle B'OB = \angle B'OA - \angle BOA = 2\angle B'ON' - 2\angle BON$
$= 2(\alpha + \theta) - 2\alpha = 2\theta.$

অর্থাৎ, আপতিত রশ্মিকে স্থির রেখে আয়নাটিকে $\theta$ কোণ আবর্তিত করলে প্রতিফলিত রশ্মি $2\theta$ কোণ আবর্তিত হবে।

দ্রষ্টব্য ঃ যদি আপতন বিন্দুতে আয়নাটিকে ঘোরানো না হয়, তাহলেও প্রতিফলিত রশ্মি দ্বিগুণ কোণে আবর্তিত হবে।

L'M' আয়নার O বিন্দুতে BO রশ্মি আপতিত হয়েছে। প্রতিফলনের পর এটি OR পথে চলে গেছে ( fig. 77 )। যদি O বিন্দুতে অভিলম্ব ON হয়, তাহলে

$\angle BON = \angle NOR \qquad \therefore \angle BOM' = \angle ROL' = \alpha$ (ধরা হ'ল)।

এখন আয়নাটিকে C বিন্দুতে $\phi$ পরিমাণ কোণে ঘোরানো হ'ল। এর পরবর্তী অবস্থান L''M''। যদি আয়নাটি BO রশ্মিকে A বিন্দুতে ছেদ করে, তাহলে BA হবে আপতিত রশ্মি। ধরা যাক, AP হ'ল প্রতিফলিত রশ্মি। সেটা OR-কে D বিন্দুতে ছেদ ক'রলো ; তাহলে $\angle ROP$ ($=\beta$, ধরা যাক) হ'ল প্রতিফলিত রশ্মির আবর্তন কোণ।

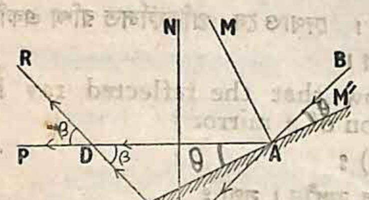


Fig. 77

A বিন্দুতে যদি AM লম্ব হয়, তাহলে
$\angle BAM'' = \angle PAL'' = \theta$
(ধরা হ'ল)।
এখন $\angle BAM'' = \angle CAO$ ব'লে,
$\angle CAO = \theta$.

$\Delta DOA$ থেকে, $\beta + (180° - 2\alpha) + 2\theta = 180°$

বা, $\beta = 2(\alpha - \theta) \qquad (1)$

আবার, $\Delta OCA$ থেকে, $\alpha = \phi + \theta$

বা, $\alpha - \theta = \phi \qquad (2)$

(1) ও (2) থেকে, $\beta = 2\phi$.

68. একটি গোলীয় দর্পণের বক্রতা-ব্যাসার্ধ এবং ফোকাস-দৈর্ঘ্য কাকে বলে ? এদের মধ্যে সম্পর্ক কি ? গোলীয় দর্পণে প্রতিফলনের দরুন সৃষ্ট প্রতিবিম্বের ক্ষেত্রে বস্তু-দূরত্ব, প্রতিবিম্ব-দূরত্ব এবং ফোকাস-দূরত্বের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন কর।

[ Define : Radius of Curvature and focal length of a spherical mirror. How are they related. Obtain the relation between

object distance, image distance and the focal length in the case of formation of image by reflection on spherical mirror ]

● **বক্রতা-ব্যাসার্ধ ( Radius of Curvature) :**

গোলীয় আয়না যে গোলকের অংশ-বিশেষ, সেই গোলকের ব্যাসার্ধকে ঐ আয়নার বক্রতা-ব্যাসার্ধ বলা হয় (fig. 78)। OC দূরত্ব হচ্ছে MN আয়নার বক্রতা-ব্যাসার্ধ। ইহাকে $r$ দ্বারা সূচিত করা হয়।

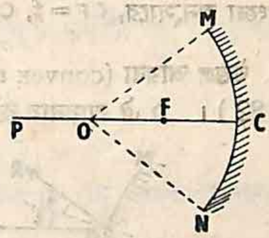


Fig. 78

● **ফোকাস-দূরত্ব ( FocalLength ) :**

গোলীয় আয়নার মেরু থেকে প্রধান ফোকাস পর্যন্ত দূরত্বকে ফোকাস-দূরত্ব বলে

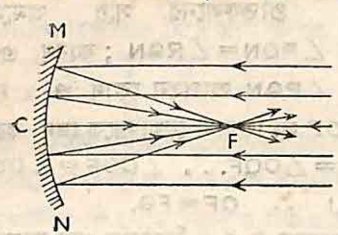


Fig. 79

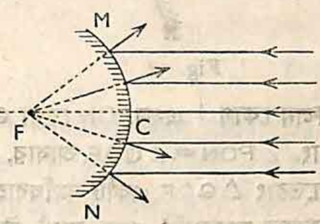


Fig. 80

( figs. 79 & 80)। CF হ'ল ফোকাস-দূরত্ব। ইহাকে $f$ দ্বারা সূচিত করা হয়।

**গোলীয় আয়নায় ফোকাস-দূরত্ব ও বক্রতা-ব্যাসার্ধের মধ্যে সম্পর্ক :**

1 **অবতল আয়না** ( concave mirror ) : MN একটি অবতল আয়না (fig. 81 )। O ঐ আয়নার বক্রতা-কেন্দ্র এবং C হচ্ছে মেরু। প্রধান অক্ষ OC-এর সমান্তরাল একটি রশ্মি ) PQ, আয়নার উপরে Q বিন্দুতে পড়ে QR বরাবর প্রতিফলিত হচ্ছে। Q২ রশ্মি প্রধান ফোকাস (F)-কে ছেদ ক'রে যাচ্ছে। QO যোগ করা হ'ল। QO আয়নার ব্যাসার্ধ ব'লে এটি আয়নার উপর Q বিন্দুতে লম্ব। সুতরাং, প্রতিফলনের সূত্র অনুসারে ∠PQO = ∠RQO, কারণ এখানে ∠PQO আপতন কোণ ও ∠RQO প্রতিফলন কোণ।

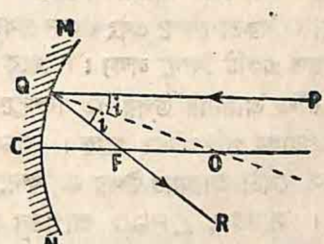


Fig. 81

আবার QO রেখাটি PQ ও OC সমান্তরাল রেখাদ্বয়কে ছেদ করেছে।

∴ ∠PQO = ∠QOF. এবং ∠RQO = ∠QOF

তাহলে, △QFO একটি সমদ্বিবাহু ত্রিভুজ। ∴ QF = FO.

যেহেতু আয়নাটি খুব ছোট উন্মেষের, সেহেতু Q বিন্দু ও C বিন্দুকে খুব কাছাকাছি মনে করা যেতে পারে (অর্থাৎ, QF = FC)।

**দীপন-মাত্রা এবং দীপন-প্রাবল্যের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন** ( Relation between Luminous Intensity and Intensity of Illumination ) ঃ

মনে করা হ'ল, O একটি বিন্দু-উৎস (fig. 74) ইহা থেকে $r$ দূরত্বে একটি ক্ষুদ্রতল $ds$-এর উপর আলো পড়ছে। $r$ এবং তলের অভিলম্ব $\theta$ কোণ উৎপন্ন করছে। O-বিন্দুতে $ds$ দ্বারা গঠিত ঘন কোণ $=d\omega$। $r$ অভিমুখে O বিন্দুর দীপন-প্রাবল্য $=$ I,

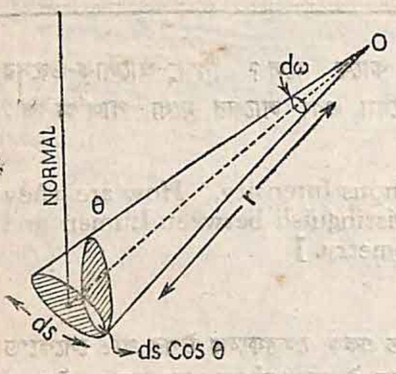



Fig. 74

অতএব, তল দ্বারা প্রাপ্ত আলোক-প্রবাহ ( luminous flux )

$$dF = I\,d\omega = \frac{I\,ds\cos\theta}{r^2} \qquad (1)$$

মনে করা হ'ল, $ds$-এ দীপন-মাত্রা $=$ E।

$$\therefore \quad E = \frac{dF}{ds} = \frac{I\cos\theta}{r^2} \qquad (2)$$

(2)-নং সমীকরণটি হ'ল দীপন-মাত্রা এবং দীপন-প্রাবল্যের মধ্যে সম্পর্ক-যুক্ত সমীকরণ।

অভিলম্ব আপতনের ক্ষেত্রে $\theta = 0$.

$$\text{অতএব} \quad E = \frac{I}{r^2} \qquad (3)$$

● **লুমেন এবং লাক্সের মধ্যে পার্থক্য ঃ**

| লুমেন ( Lumen ) | লাক্স ( Lux ) |
|---|---|
| 1. লুমেন আলোকপ্রবাহের একক। | 1. লাক্স দীপন-মাত্রার M. K. S পদ্ধতিতে একক। |
| 2. এক ক্যান্ডেলা দীপন-প্রাবল্য সম্পন্ন কোন বিন্দু-উৎস প্রতি ঘন কোণে প্রতি সেকেন্ডে যে আলোক-প্রবাহ পাঠায়, তাকে এক লুমেন বলে। | 2. একটি আলোক-উৎস থেকে এক মিটার দূরে এক বর্গমিটার ক্ষেত্রে লম্বভাবে অ্যালুমেন আলো পড়লে ঐ দীপন-মাত্রাকে এক লাক্স বলে। |
| 3. এক লুমেন $=\frac{1}{4\pi}$ ক্যান্ডেলা। | 3. এক লাক্স = এক লুমেন / বর্গমিটার। |

● **দীপ্তিমিতির মূল নীতি ঃ**

মনে করা হ'ল, $S_1$ এবং $S_2$—দুটি আলোক-বিন্দু-উৎস একটি পর্দা MN ( fig. 75 ) থেকে যথাক্রমে $r_1$ এবং $r_2$ দূরে রাখা আছে। বিন্দু-উৎস-দুটির

দীপন-প্রাবল্য যথাক্রমে $I_1$ এবং $I_2$। উহারা ঐ দূরত্বে থেকে যদি MN পর্দার উপর সমান দীপন-মাত্রা সৃষ্টি করে, তবে দীপ্তিমিতির মূল নীতি নির্ধারণ করা যেতে পারে। $S_1$ উৎস কর্তৃক পর্দায় সৃষ্ট দীপন-মাত্রা $= E_1 = \frac{I_1}{r_1^2}$

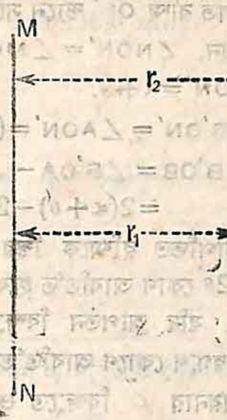


Fig. 75

$S_2$ উৎস কর্তৃক পর্দায় সৃষ্ট দীপন-মাত্রা

$$E_2 = \frac{I_2}{r_2^2}$$

যেহেতু $E_1 = E_2$ $\therefore$ $\frac{I_1}{r_1^2} = \frac{I_2}{r_2^2}$.

অর্থাৎ, দুটি উৎস যদি কোন পর্দার উপর সমান দীপন-মাত্রা সৃষ্টি করে, তবে উহাদের দীপন-প্রাবল্য পর্দা থেকে উহাদের দূরত্বের বর্গের সমানুপাতিক।

ইহাই হ'ল দীপ্তিমিতির মূল নীতি। এই নীতির সাহায্যে দীপন-প্রাবল্যের তুলনা বা দীপন-প্রাবল্যের মান নির্ণয় করা যায়।

67. প্রতিফলনের সূত্রগুলি বিবৃত কর। দেখাও যে, প্রতিফলিত রশ্মি একটি দর্পণের আবর্তণ কোণের দ্বিগুণ আবর্তিত হবে।

[State laws of reflection. Show that the reflected ray is rotated by twice the angle of rotation of a mirror.]

● **প্রতিফলনের সূত্র (Laws of Reflection) :**

আলোকের নিয়মিত প্রতিফলন দুটি সূত্রের অধীন। যথা :

<u>প্রথম সূত্র</u> : আপতিত রশ্মি, প্রতিফলিত রশ্মি এবং আপতন বিন্দুতে প্রতিফলকের উপর অঙ্কিত অভিলম্ব একই সমতলে অবস্থিত থাকে।

<u>দ্বিতীয় সূত্র</u> : আপতন কোণ ও প্রতিফলন কোণ সমান হয়।

● **আয়না ঘোরাবার ফলে প্রতিফলিত রশ্মির ঘূর্ণন (Rotation of Reflected Ray due to Rotation of Mirror) :**

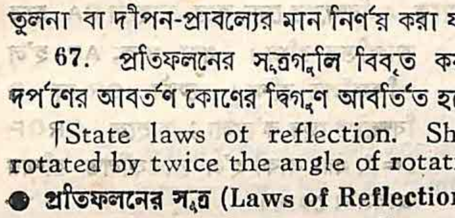


Fig. 76

LM আয়নাটি O বিন্দু বরাবর ঘুরতে পারে (fig. 76)। LM অবস্থানে AO আপতিত রশ্মি এবং OB হচ্ছে প্রতিফলিত রশ্মি। ON হ'ল O বিন্দুতে অভিলম্ব।

$\angle AON$-কে $\alpha$ ধরলে, $\angle BON = \alpha$ (প্রতিফলনের সূত্রানুসারে)। এখন আয়নাটিকে O বিন্দুতে $\theta$ কোণ পরিমাণ ঘুরিয়ে L'M'

$\therefore$ FO = FC অর্থাৎ F, OC সরলরেখার মধ্যবিন্দু।

$\therefore$ FO = $\frac{1}{2}$CO.

সংজ্ঞা অনুসারে, CF = $f$, CO = বক্রতা-ব্যাসার্ধ = $r$. $\therefore$ $f = \frac{r}{2}$.

2. **উত্তল আয়না** (convex mirror) : MN একটি ছোট উন্মেষের উত্তল আয়না (fig. 82)। O ঐ আয়নার বক্রতা-কেন্দ্র, C মেরু এবং F প্রধান ফোকাস। প্রধান অক্ষ OC-র সমান্তরাল PQ রশ্মি Q বিন্দুতে পড়ে QR বরাবর প্রতিফলিত হচ্ছে। OQ যোগ ক'রে N পর্যন্ত বর্ধিত করা হ'ল। সুতরাং, QN, আয়নার উপর Q বিন্দুতে লম্ব।

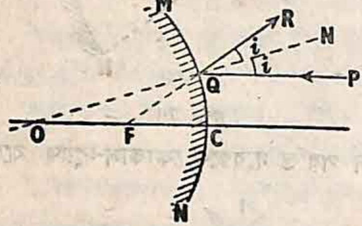


Fig. 2

প্রতিফলনের সূত্র অনুসারে, ∠PQN = ∠RQN ; কারণ, এখানে ∠PQN আপতন কোণ ও ∠RQN প্রতিফলন কোণ। এখন, ON রেখা QP এবং OP সমান্তরাল রেখাদ্বয়কে ছেদ করছে। সুতরাং, ∠PQN = ∠QOF আবার, ∠RQN = ∠OQF. $\therefore$ ∠QOF = ∠OQF.

সুতরাং △QOF একটি সমদ্বিবাহু ত্রিভুজ। $\therefore$ OF = FQ.

যেহেতু আয়নাটি খুব ছোট উন্মেষের, সেহেতু Q ও C বিন্দুকে খুব কাছাকাছি মনে করা যেতে পারে।

অর্থাৎ, QF = FC $\therefore$ FC = OF অর্থাৎ, F হচ্ছে OC সরলরেখার মধ্যবিন্দু।

$\therefore$ CF = $\frac{1}{2}$OC.

সংজ্ঞানুসারে, CF = $f$, OC = বক্রতা-ব্যাসার্ধ = $r$ $\therefore$ $f = \frac{r}{2}$.

**গোলীয় আয়নায় বিন্দু লক্ষ্যের প্রতিবিম্ব :**

1. **অবতল আয়না** (concave mirror) : MN অবতল আয়নার C হচ্ছে মেরু, O বক্রতা-কেন্দ্র এবং COP প্রধান অক্ষ (fig. 83)। P প্রধান অক্ষের উপর অবস্থিত একটি বিন্দু লক্ষ্য। P থেকে নিঃসৃত PQ রশ্মি আয়নার উপর Q বিন্দুতে পড়ে QR বরাবর প্রতিফলিত হচ্ছে। OQ যোগ করলে সেটা আয়নার উপর Q বিন্দুতে লম্ব হবে। সুতরাং, ∠PQO আপতন কোণ ও ∠RQO প্রতিফলন কোণ। P থেকে নিঃসৃত আর একটি রশ্মি PC প্রতিফলনের পর একই রেখা বরাবর বিপরীত দিকে অর্থাৎ CP বরাবর ফিরবে। প্রতিফলিত রশ্মি QR ও CP যেহেতু S বিন্দুতে ছেদ করে, সেহেতু S বিন্দু হচ্ছে P বিন্দুর সদ্‌বিম্ব।

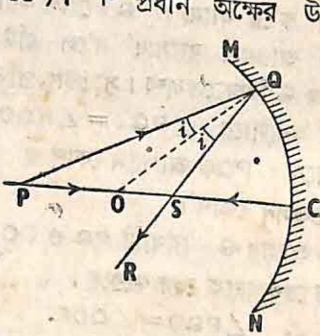


Fig. 83

প্রতিফলনের সূত্র অনুযায়ী, ∠PQO = ∠RQO (1)

∴ OQ রেখা, ∠PQS-এর অন্তর্সমদ্বিখণ্ডক, তাই আমরা লিখতে পারি,

$$\frac{SQ}{PQ} = \frac{SO}{PO}$$

আয়নাটি ছোট উন্মেষের ব'লে Q ও C বিন্দুকে খুব কাছাকাছি ধরা যেতে পারে ঃ তাহলে, PQ = PC এবং SQ = SC

$$\therefore \quad \frac{SC}{PC} = \frac{SO}{PO} = \frac{OC - SC}{PC - OC} \qquad (2)$$

এখন যদি ধরা হয়,

PC = লক্ষ্যবস্তুর দূরত্ব = $u$, SC = প্রতিবিম্বের দূরত্ব = $v$, OC = বক্রতা-ব্যাসার্ধ = $r$

তাহলে (2) নং সমীকরণ থেকে আমরা পাই

$$\frac{v}{u} = \frac{r - v}{u - r}$$

বা, $u(r-v) = v(u-r)$ বা, $ur - uv = uv - vr$ বা, $ur + vr = 2uv$

উভয়পক্ষকে $uvr$ দিয়ে ভাগ ক'রে,

$$\frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{2}{r} = \frac{1}{f} \qquad \left[\because \ f = \frac{r}{2}\right]$$

2. **উত্তল আয়না** (convex mirror) ঃ MN = একটি উত্তল আয়না (fig. 84) C = মেরু, O = বক্রতা-কেন্দ্র এবং PCO = প্রধান অক্ষ। প্রধান অক্ষের উপর P একটি বিন্দু-লক্ষ্য। P থেকে নিঃসৃত PQ রশ্মি আয়নার উপর Q বিন্দুতে পড়ে QR বরাবর প্রতিফলিত হচ্ছে। OQ যোগ করা হ'ল এবং T অবধি বর্ধিত করা হ'ল। এটিই Q বিন্দুতে অভিলম্ব। সুতরাং, ∠PQT আপতন কোণ ও ∠RQT প্রতিফলন কোণ। P থেকে নিঃসৃত আর একটি রশ্মি OP প্রতিফলনের পর একই রেখা বরাবর বিপরীত দিকে অর্থাৎ OP-র দিকে ফিরছে। প্রতিফলিত রশ্মি OP ও RQ (পিছন দিকে বর্ধিত) S বিন্দুতে পরস্পরকে ছেদ করছে। সুতরাং, S বিন্দু P বিন্দুর অসদ্ প্রতিবিম্ব।

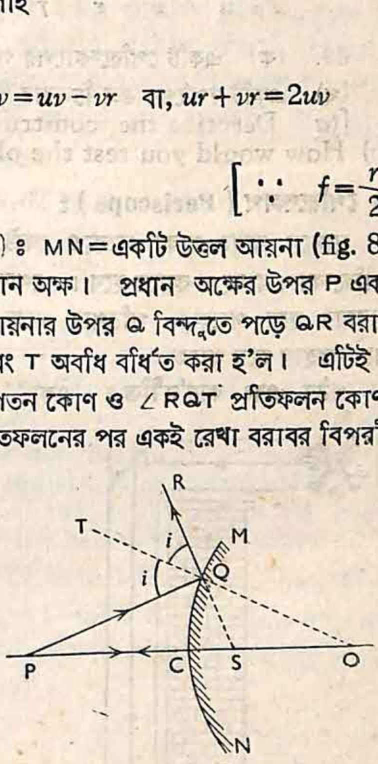



Fig. 84

প্রতিফলনের সূত্র অনুযায়ী,

∠PQT = ∠RQT (1)

এখন, QT হচ্ছে ∠PQR (∠PQS-র বহিঃস্থ কোণ)-এর সমদ্বিখণ্ডক। তাই

$$\frac{QS}{PQ} = \frac{SO}{PO} \qquad (2)$$

আয়নাটি ছোট উন্মেষের ব'লে Q ও S বিন্দুকে খুব কাছাকাছি মনে করা যেতে পারে। সেক্ষেত্রে QS = CS ও QP = PS.

তাহলে, (2)নং সমীকরণ থেকে পাই

$$\frac{CS}{PC} = \frac{SO}{PO} = \frac{OC - CS}{OC + PC} \qquad (3)$$

(1) ধরা যাক, CP = লক্ষ্যবস্তুর দূরত্ব $= u$, SC = প্রতিবিম্বের দূরত্ব $= -v$ এবং
সুতরাং (3) নং সমীকরণ থেকে পাই CC = বক্রতা-ব্যাসার্ধ $= -r$.

$$\frac{-v}{+u} = \frac{-r-(-v)}{+u+(-r)}$$

বা, $\frac{-v}{+u} = \frac{-r+v}{u-r}$ বা, $-uv+vr = -ur+uv$

বা, $vr + ur = 2uv$

উপরের সমীকরণের উভয়পক্ষকে $uvr$ দিয়ে ভাগ ক'রে

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{2}{r} = \frac{1}{f} \qquad \left[\because f = \frac{r}{2}\right]$$

69. (ক) একটি পেরিস্কোপের গঠন এবং কার্যনীতি বিবৃত কর।
(খ) একটি দর্পণের তল চিনবার উপায় কি?
[(a) Describe the construction and action of a periscope.
(b) How would you test the planeness of a mirror?]

● **পেরিস্কোপ ( Periscope ) :**

সামনে বাধা থাকা সত্ত্বেও কেউ যদি দূরের বস্তু দেখতে চায়, তাহলে তাকে পেরিস্কোপ ব্যবহার করতে হবে। খেলার মাঠে, সাবমেরিন ইত্যাদিতে পেরিস্কোপের ব্যবহার হয়ে থাকে। পরিখার মধ্যে থেকে শত্রুসৈন্যের গতিবিধি লক্ষ্য করার জন্যও এর ব্যবহার হয়ে থাকে।

**গঠন এবং কার্যনীতি :** একটি লম্বা ও আয়তাকার কাঠের বাক্সে দুটি সমতল আয়নাকে মুখোমুখি সমান্তরাল ও বাক্সের সঙ্গে 45° কোণ ক'রে রাখা আছে ( fig. 85 )। বাইরের বস্তু থেকে আলোক-কিরণ সোজাসুজি এসে প্রথম আয়নায় পড়ছে ও খাড়াখাড়ি প্রতিফলিত হচ্ছে। এই প্রতিফলিত আলোক-কিরণ দ্বিতীয় আয়নায় পড়ে আবার সোজাভাবে এসে চোখে পড়ে বস্তুকে দৃশ্যমান করছে। পেরিস্কোপকে এমনভাবে ধরে রাখতে হয়, যাতে এর উপরের আয়নাখানি প্রতিবন্ধকের উপরে থাকে। সেক্ষেত্রে বস্তু থেকে আলোক এসে প্রথম আয়নায় পড়ায় কোন বাধা থাকে না।

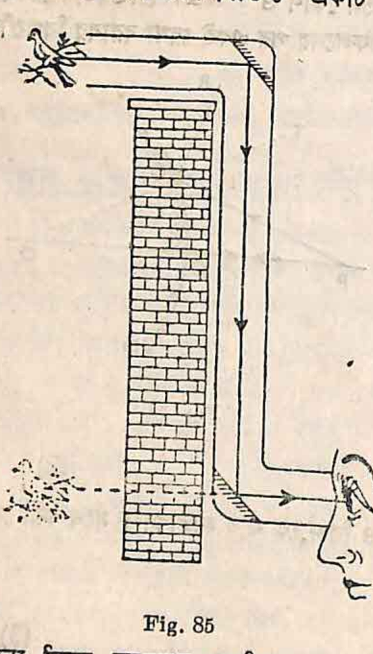


Fig. 85

বিভিন্ন অবস্থানে ব্যবহার করবার জন্য অনেক সময়ে আয়না-দুটিকে ঘোরাবার ব্যবস্থাও থাকে। অবশ্য বিক্ষেপণের জন্য কিছু আলোক শোষিত হয় ব'লে প্রতিবিম্ব খুব স্পষ্ট হয় না। সেজন্য,

আয়নার পরিবর্তে সম্পূর্ণ প্রতিফলিত প্রিজম্ ব্যবহার করা হয়ে থাকে। চিত্রে (fig. 85) ছেদযুক্ত রেখা দিয়ে আঁকা পাখির ছবিটি **প্রতিবিম্বের অবস্থান নির্দেশ করছে না**। প্রতিবিম্বের দিক নির্দেশ করছে।

● **দর্পন বা আয়না চিনিবার উপায় (Identification of Mirrors) :**

একটি আয়না সমতল, অবতল বা উত্তল কি-না, তা আয়নার খুব কাছে হাতের একটি আঙুল ধরলেই সহজে নির্ধারণ করা যায়। আমরা জানি যে, সমতল আয়নার সামনে কোন লক্ষ্যবস্তু রাখলে তার প্রতিবিম্ব সমশীর্ষ, অসদ্ এবং আকারে লক্ষ্য বস্তুর সমান হয়। অবতল আয়নার ক্ষেত্রে প্রতিবিম্ব সমশীর্ষ অসদ্ ও আকারে লক্ষ্যবস্তুর থেকে বড় হয় এবং উত্তল আয়নার ক্ষেত্রে প্রতিবিম্ব সমশীর্ষ, অসদ্ কিন্তু আকারে ছোট হয়। সুতরাং, কোন আয়নার সামনে আঙুল রাখলে যদি আঙুলের আকারের সমান প্রতিবিম্ব দেখা যায়, তাহলে আয়নাটি সমতল, যদি প্রতিবিম্ব আঙুলের চেয়ে বড় হয়, তাহলে আয়নাটি অবতল এবং আয়নাটি উত্তল হবে, যদি প্রতিবিম্ব আঙুলের আকারের থেকে ছোট হয়।

**70.** দুটি সমতল আয়না $\theta$ কোণে আনত আছে। একটি আপতিত রশ্মি দ্বিতীয় আয়নার সমান্তরাল এসে প্রথম আয়নায় পড়লো এবং দু'বার প্রতিফলনের পর প্রথম আয়নার সমান্তরাল হয়ে বের হ'ল। $\theta$ কোণের মান নির্ণয় কর।

[Two mirrors are inclined at an angle $\theta$. If a ray of light is incident on the first mirror parallel to the second and after two reflections becomes parallel to the first, calculate the value of $\theta$.]

*Or,*

[Two plain mirrors M and M′ are inclined. A ray of light parallel to M is incident on M′ and after one reflection from both the mirrors M and M′ the reflected ray is found to be parallel to M′. Find the angle of inclination between the mirrors.]

OD ও OC আয়নাদ্বয় $\theta$ কোণ ক'রে আছে (fig. 86)। $AM_1$ রশ্মি OC আয়নার সমান্তরাল হয়ে OD আয়নায় পড়লো। এই রশ্মি প্রতিফলিত হয়ে $M_1M_2$ পথে OC আয়নায় গেল এবং $M_2B$ পথে OD আয়নার সমান্তরাল হয়ে বের হয়ে গেল। $\theta$ কোণের মান নির্ণয় করতে হবে।

এখন, $OM_2$ ও $AM_1$ সমান্তরাল এবং উভয়েই OD-কে ছেদ করেছে ব'লে

$\angle AM_1D = \angle M_2OM_1 = \theta$

অনুরূপভাবে,

$\angle CM_3B = \angle M_2OM_1 = \theta$

আবার, $AM_1$ আপতিত রশ্মি ও $M_1M_2$ প্রতিফলিত রশ্মি ব'লে,

$\angle AM_1D = \angle OM_1M_2 = \theta.$

একই কারণে,

$\angle OM_2M_1 = \angle CM_2B = \theta.$

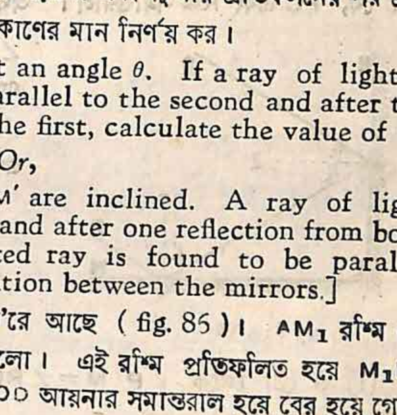



Fig. 86

প্রতিসরণের ক্ষেত্রে সর্বদাই কিছু পরিমাণ আলোক প্রতিফলিত হয়ে থাকে প্রতিফলনের পরিমাণ কতটা হবে, সেটি আপতন কোণের মানের উপর নির্ভর করে। কিন্তু ঘনতর মাধ্যম থেকে লঘুতর মাধ্যমে আলো সংকট কোণের চেয়ে বেশী কোণে আপতিত হলে, এর সামান্য অংশও প্রতিসৃত হয় না। এই জন্য এই ঘটনাকে পূর্ণ প্রতিফলন বলা হয়।

**অভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলনের সংজ্ঞা ও শর্তাবলী ঃ**

**সংজ্ঞা ঃ** ঘনতর মাধ্যম থেকে লঘুতর মাধ্যমে প্রতিসরণের ক্ষেত্রে কোন আলোক-রশ্মি যদি সংকট কোণের বেশী কোণ ক'রে আপতিত হয়, তবে প্রতিসরণের পরিবর্তে আলোক-রশ্মির প্রতিফলন হয়। এই প্রতিফলন নিয়মিত, অর্থাৎ, প্রতিফলনের সূত্রগুলি মেনে চলে। একেই অভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন বলে।

**শর্তাবলী ঃ** 1. আলোক-রশ্মি ঘনতর মাধ্যম থেকে লঘুতর মাধ্যমে যাবে।

2. আপতন কোণ সংকট কোণের চেয়ে বেশী হবে।

**সংকট-কোণের সংজ্ঞা ঃ** যখন আলোক-রশ্মি ঘনতর মাধ্যম থেকে লঘুতর মাধ্যমের দিকে এমনভাবে যায় যে, প্রতিসৃত কোণ 90° হয়, তখন আপতিত রশ্মি যে আপতন কোণ সৃষ্টি করে, তাকেই সংকট কোণ বলে। সংকট কোণের মান মাধ্যমদ্বয়ের প্রতিসরাঙ্কের উপর নির্ভর করে। চিত্রে $\angle BOO' = \theta_c$ হ'ল সংকট কোণ (fig. 90)।

**সংকট কোণ ও প্রতিসরাঙ্কের সম্বন্ধ ঃ**

(*a*) মাধ্যম থেকে (*b*) মাধ্যমে যাবার সময় আলোক-রশ্মি যদি (*a*) মাধ্যমে সংকট কোণে আপতিত হয়, তাহলে প্রতিসৃত কোণ 90° হয়ে থাকে।

অতএব, $${}_a\mu_b = \frac{\sin \theta_c}{\sin 90^\circ}$$

বা, ${}_a\mu_b = \sin \theta_c$, [ যেহেতু, $\sin 90^\circ = 1$]

বা, $\theta_c = \sin^{-1} {}_a\mu_b$

বা, $\theta_c = \sin^{-1} \frac{1}{{}_b\mu_a}$ $\left[ \text{যেহেতু, } {}_a\mu_b = \frac{1}{{}_b\mu_a} \right]$

75. প্রমাণ কর যে, কোন প্রিজম্-এর কোণ যদি কাচের সংকট কোণের দ্বিগুণ হয়, তাহলে কোন বহির্গমন রশ্মি থাকবে না।

[Prove that, if the angle of a prism is twice the critical angle, then there will be no emergent ray.]

*Or,*

[Show that light will not emerge after refraction through a prism if its angle be greater than twice the critical angle of the material of the prism.]

যদি বহির্গত কোন রশ্মি না থাকে, তাহলে $i' = 90^\circ$ হবে। সেক্ষেত্রে বহির্গমন রশ্মি প্রিজম্-এর গা ঘেঁষে চলে যাবে। তখন যদি আপতন কোণ সর্বগরিষ্ঠও হয়, তাহলেও এই শর্তের বিচ্যুতি ঘটবে না। অর্থাৎ, $i = 90^\circ$

যেহেতু, $\frac{\sin i}{\sin r}=\frac{\sin i'}{\sin r'}=\mu$ বা, $\sin r=\sin r'=\frac{1}{\mu}$ $[\because \sin 90^\circ=1]$

$\therefore r=r'=\sin^{-1}\left[\frac{1}{\mu}\right]$ $\therefore A=r+r'=2\sin^{-1}\left[\frac{1}{\mu}\right]$ $\left[\because \sin\theta_c=\frac{1}{\mu}\right]$

বা, A = 2 × সংকট কোণ।

76. একটি পূর্ণ প্রতিফলন প্রিজমের কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর। এই প্রিজমের সাহায্যে কিভাবে একটি আপাতিত রশ্মির 180° বিচ্যুতি ঘটে, তাহা দেখাও।

[Explain the principle of action of a total reflection prism. How can an incident ray be deviated by 180° with the help of a prism.]

● **পূর্ণ প্রতিফলন প্রিজম ( Total Reflection Prism ):**

ABC একটি সমদ্বিবাহু, সমকোণী প্রিজম ( fig. 92 )। AB ও BC-বাহু সমান এবং ∠B একটি সমকোণ। BC পৃষ্ঠের উপর যে সব রশ্মি লম্বভাবে পড়ছে, সেগুলি প্রতিসৃত না হয়ে সোজা গিয়ে AC পৃষ্ঠে পড়বে। AC পৃষ্ঠের সঙ্গে এই সব রশ্মি 45° কোণ উৎপন্ন করছে। কাচ থেকে বায়ুর সংকট কোণ 42° (প্রায়)।

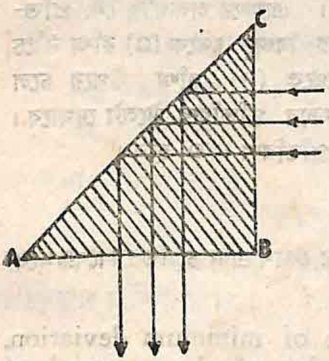
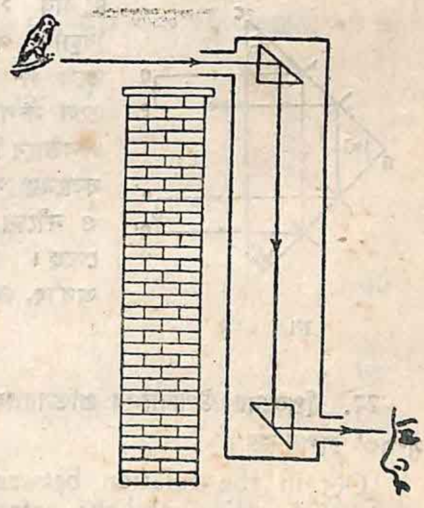


Fig. 92


Fig. 93

যেহেতু, আলোক-রশ্মি তার চেয়ে বেশী কোণ ক'রে আপতিত হচ্ছে, সেহেতু আলোকের পূর্ণ প্রতিফলন হবে এবং রশ্মিগুলি AB-র উপর লম্বভাবে আপতিত হয়ে দিক পরিবর্তন না ক'রে সোজা বের হয়ে যাবে। তাহলে আপতিত রশ্মি 90° বেঁকে গিয়েছে

অতএব, $CM_1M_2$ ত্রিভুজের প্রত্যেকটি কোণের মান $\theta$। যেহেতু, ত্রিভুজের তিন কোণের সমষ্টি = দুই সমকোণ ; সেহেতু, $\theta+\theta+\theta=180^\circ$ বা, $\theta=60^\circ$.

71. সমকোণে আনত দুটি আয়নার যে-কোন একটিতে কোন আলোকরশ্মি আপতিত হলে, দেখাও যে, দু'বার প্রতিফলনের পর প্রতিফলিত রশ্মি আপতিত রশ্মির সমান্তরাল হবে।

[A ray of light is reflected successively from two plane mirrors inclined at right angles to each other. Prove that the ray after the second reflection is parallel to the original direction.]

*Or,*

[How will two plain mirrors be arranged so that for any angle of incidence, the incident ray and the reflected ray. Obtain after reflection from two mirrors, will be parallel to each other.

LM ও LN হ'ল আয়নদ্বয় এবং $\angle NLM=90^\circ$ ( fig. 87) ।

RQ আপতিত রশ্মি LN আয়নার উপর পড়ে QC অভিমুখে প্রতিফলিত হ'ল এবং LM আয়নায় আবার প্রতিফলিত হয়ে CP অভিমুখে গেল। প্রমাণ করতে হবে যে, PC এবং RQ সমান্তরাল। অর্থাৎ

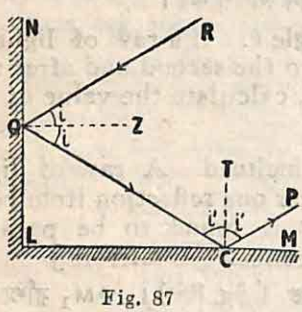



Fig. 87

$\angle PCM=\angle RQZ.$ [$QZ \parallel CM$]

এখন $\angle PCT=\angle TCQ=i'$ ( ধরলাম )

$\therefore\ \angle PCM=\angle QCL=90^\circ-i'$ (1)

এখন, $\triangle CLQ$-তে $\angle QLC=90^\circ$,

$\angle QCL=90^\circ-i'$

$\therefore\ \angle LQC=i'$

$\therefore\ \angle ZQC=90^\circ-i'=\angle RQZ$ (2)

(প্রতিফলনের সূত্রানুযায়ী)

(1) ও (2) থেকে $\angle PCM=\angle RQZ$ ( উভয়েই $90^\circ-i'$ কোণ সমান্তরাল রেখার সঙ্গে করছে। )

$\therefore$ PC এবং QR সমান্তরাল।

72. তোমাকে একটি অবতল এবং উত্তল দর্পণ দেওয়া হ'ল। দর্পণগুলির পৃষ্ঠ স্পর্শ না ক'রে উহাদের প্রকৃতি কিভাবে নির্ধারণ করবে তাহা ব্যাখ্যা কর।

[ You are supplied with one concave and one convex mirror. How would you ascertain the nature of the mirrors without touching the surface of the mirrors ? ]

একটি আয়না—অবতল বা উত্তল কি-না, তা আয়নার খুব কাছে হাতের একটি আঙুল ধরলেই সহজে নির্ধারণ করা যায়। আমরা জানি যে, আয়নার সামনে কোন বস্তু রাখলে, অবতল আয়নার ক্ষেত্রে প্রতিবিম্ব সমশীর্ষ, অসদ ও আকারে লক্ষ্যবস্তু থেকে বড় হয় এবং উত্তল আয়নার ক্ষেত্রে প্রতিবিম্ব সমশীর্ষ,

অসদ্, কিন্তু আকারে ছোট হয়। সুতরাং, কোন আয়নার সামনে আঙুল রাখলে যদি প্রতিবিম্ব আঙুলের চেয়ে বড় হয়, তাহলে আয়নাটি অবতল এবং আয়নাটি উত্তল হবে, যদি প্রতিবিম্ব আঙুলের আকারের থেকে ছোট হয়।

73. সমতলে আলোকের প্রতিসরণের সূত্রাবলী লেখ এবং পরীক্ষাগারে কিভাবে এই সূত্রগুলির সত্যতা নিরূপণ করা যায়, তাহা বিবৃত কর।

[Write down the laws of refraction on plane surface and how can they be experimentally verified ]

● **প্রতিসরণের সূত্রাবলী ( Laws of Refraction ) ঃ**

**প্রথম সূত্র ঃ** আপতিত রশ্মি, প্রতিসৃত রশ্মি ও প্রতিসরাঙ্ক তলের উপর আপতন বিন্দুস্থ অভিলম্ব, একই সমতলে থাকবে।

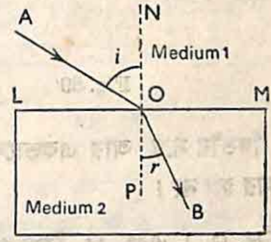



Fig. 88

**দ্বিতীয় সূত্র ঃ** দুটি নির্দিষ্ট মাধ্যমের ভিতর দিয়ে একটি নির্দিষ্ট রঙের আলোক-রশ্মির প্রতিসরণ হলে সর্বদা আপতন কোণের সাইন (sin) ও প্রতিসরণ কোণের সাইনের অনুপাত একটি ধ্রুবক হয়। একে **স্নেলের সূত্র** ( Snell's law ) বলে।

দ্বিতীয় সূত্র অনুযায়ী যদি আপতন কোণ $\angle i$ ও প্রতিসরণ কোণ $\angle r$ হয়, ( fig. 88 ) তাহলে, $\frac{\sin i}{\sin r}$ = ধ্রুবক হবে। এই ধ্রুবককে $\mu$ ( মিউ ) দ্বারা সূচিত করা হয়। $\mu$-কে বলা হয় **প্রতিসরাঙ্ক।**

● **প্রতিসরণের সূত্রের সত্যতা নিরূপণ ( Verification of Laws of Refraction) ঃ**

**পিন দ্বারা ঃ** একটি ড্রইং-বোর্ডের উপর পিন দিয়ে একটি কাগজ টান ক'রে আটকানো হ'ল। কাগজের মাঝখানে একটি কাচের ব্লক বসিয়ে পেনসিলের সাহায্যে এর সীমারেখা ABCD আঁকা হ'ল। ব্লকটি উঠিয়ে AB রেখার মাঝামাঝি O বিন্দুকে কেন্দ্র ক'রে এবং AD বা BC থেকে কম ব্যাসার্ধ নিয়ে একটি বৃত্ত আঁকা হ'ল (fig. 89) এর পর ব্লকটিকে আবার ABCD সীমারেখার সঙ্গে মিলিয়ে রাখা হ'ল ও O বিন্দুতে একটি এবং বৃত্তের পরিধিস্থ F বিন্দুতে আর একটি পিন বসানো হ'ল। এখন DC পৃষ্ঠের দিক থেকে তাকিয়ে কাচের গায়ে R ও কিছু দূরে S-এ এমনভাবে দুটি পিন বসানো হ'ল যে, P, Q, R ও S বিন্দুতে স্থাপিত পিনগুলির পাদদেশ একই সরলরেখায় ব'লে মনে হবে। OR যোগ করা হ'ল। ধরা যাক, এটি বৃত্তটিকে L বিন্দুতে ছেদ ক'রলো। O বিন্দুতে AB সরলরেখার উপর $O_1OO_2$ অভিলম্ব টানা হ'ল। দেখা যাচ্ছে, PO রশ্মি

কাচের মধ্য দিয়ে বের হয়ে RS পথ নিয়েছে। তাহলে কাচের মধ্য রশ্মির পথ OLR। অর্থাৎ, PO আপতিত রশ্মি, OL প্রতিসৃত রশ্মি এবং $O_1O_2$ অভিলম্ব—এই তিনটি কাগজের সমতলে আছে। এর দ্বারা প্রথম সূত্র প্রমাণিত হ'ল। P পিনটি Q-তে সরিয়ে অনুরূপভাবে আর একবার পরীক্ষা করা হ'ল। এক্ষেত্রে QO আপতিত রশ্মি ও OM প্রতিসৃত রশ্মি। এখন চাঁদার সাহায্যে $\angle PQO_1$, $\angle QOO_1$, $\angle LOO_2$ ও $\angle MOO_2$ মেপে ত্রিকোণমিতির তালিকা থেকে এদের sine নির্ণয় করা হ'ল। দেখা যাবে,

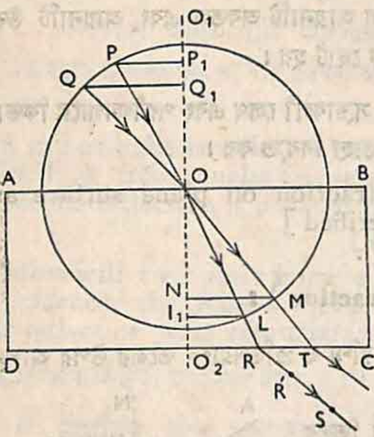



Fig. 89

$$\frac{\sin POO_1}{\sin LOO_2}=\frac{\sin QOO_1}{\sin MOO_2}\ (=\mu)$$

দ্বিতীয় সূত্র আর একভাবে প্রমাণ করা যায়। এতে ত্রিকোণমিতির তালিকার দরকার হয় না।

P, Q, L এবং M বিন্দুগুলি থেকে অভিলম্ব $O_1OO_2$-র উপর যথাক্রমে $PP_1$ $QQ_1$, LI এবং MN লম্ব টানা হ'ল। এখন,

$$\sin POP_1=\frac{PP}{OP};\ \sin QOO_1=\frac{OQ}{OQ};\ \sin LOI=\frac{LI}{OL};\ \sin MON=\frac{MN}{OM},$$

যেহেতু, OP = OQ = OL = OM (প্রত্যেকটিব বৃত্তের ব্যাসার্ধ) সেহেতু,

$$\frac{\sin POP_1}{\sin LOI}=\frac{PP_1/OP}{LI/OL}=\frac{PP_1}{LI},\ \text{এবং}\ \frac{\sin QOO_1}{\sin MON}=\frac{QQ_1/QO}{MN/OM}=\frac{QQ_1}{MN}$$

$$\text{বা,}\quad \frac{PP_1}{LI}=\frac{QQ_1}{MN}\ (=\mu).$$

সুতরাং $PP_1$, LI এবং $QQ_1$ ও MN মেপে এদের অনুপাত বার করলে—প্রতিক্ষেত্রেই একই ফল দেখতে পাওয়া যাবে। অর্থাৎ, এক্ষেত্রে কোণ না মেপে P, Q, L ও M থেকে অভিলম্বের উপর লম্ব টেনে এদের দৈর্ঘ্য মাপতে হবে এবং এদের অনুপাত বার করতে হবে। এই অনুপাতই হবে বায়ু থেকে কাচে প্রতিসরাঙ্কের মান। এই পদ্ধতিটি অপেক্ষাকৃত সোজা। তবে পরীক্ষাটি করার সময় যাতে কাচের ব্লকটি নির্দিষ্ট সীমায় থাকে সেদিকে বিশেষ লক্ষ্য রাখতে হবে।

74 অভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন বলিতে কি বুঝ? অভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলনের শর্তগুলি উল্লেখ কর।

সংকট কোণ কাকে বলে ? লঘুতর মাধ্যমের সাপেক্ষে ঘনতর মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্কের সহিত ইহার সম্পর্ক কি ?

[ What do you mean by total internal reflection. Mention the conditions for total internal reflection. Define critical angle and how is it related to the refractive index of the denser medium with respect to the rarer medium ? ]

● **অভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন (Total Internal Reflection) ঃ**

প্রদত্ত চিত্রে (*a*) ও (*b*) দুটি মাধ্যম (fig. 90)। (*a*)-ঘনতর ও b-লঘুতর মাধ্যম ঃ AO আলোক-রশ্মি (*a*) মাধ্যম থেকে (*b*) মাধ্যমে গেলে প্রতিসৃত হয়ে OA′ পথে অভিলম্ব থেকে দূরে সরে যায়। আপতন কোণ যত বাড়বে, প্রতিসরণ কোণ তত বড় হবে। এইভাবে বাড়তে বাড়তে এমন একটি আপতন কোণ আসবে, যখন প্রতিসৃত রশ্মি দুই মাধ্যমের বিভেদ তলের সমান্তরাল হবে অর্থাৎ প্রতিসরণ কোণ 90° হবে। এই অবস্থায় আপতন কোণকে সংকট কোণ বলে।

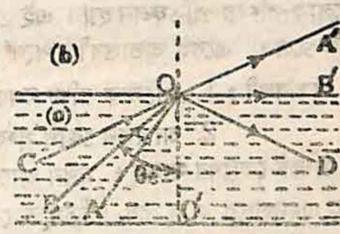



Fig. 90

সংকট কোণের মান মাধ্যমদ্বয়ের প্রকৃতি ( বা প্রতিসরাঙ্কের ) উপর নির্ভর করে। কাচ থেকে বায়ু মাধ্যমে আলোক-রশ্মির সংকট কোণের মান প্রায় 42° ; হীরা থেকে বায়ু মাধ্যমে সংকট কোণের মান প্রায় 25°।

এর পর আপতন কোণ যদি আরও বাড়ে, তবে আলোক-রশ্মি প্রতিসৃত না হয়ে প্রতিফলনের সূত্রানুযায়ী সম্পূর্ণ প্রতিফলিত হবে। যেহেতু ∠COO′ সংকট কোণের চেয়ে বড়, সেহেতু আলোক OD রেখা বরাবর এমনভাবে প্রতিফলিত হবে যে, ∠COO′ = ∠DOO′ হবে। একেই অভ্যন্তরীণ পূর্ণ প্রতিফলন বলে।

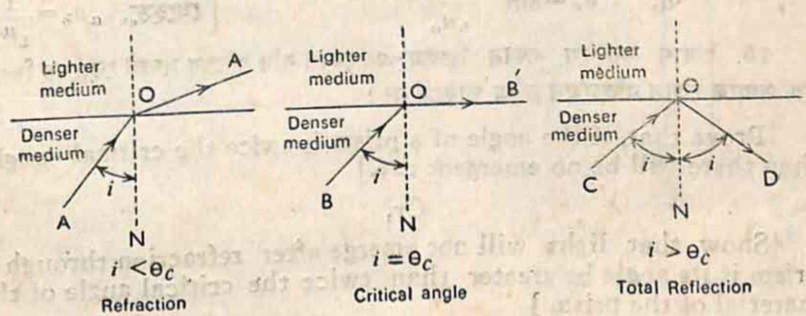



Fig. 91

প্রদত্ত চিত্রে আলাদা আলাদা ভাবে ( fig. 91 ) তিনটি বিভিন্ন অবস্থান দেখানো হ'ল ঃ

অর্থাৎ, বিচ্যুতি কোণ 90°। এভাবে গঠিত প্রতিবিম্বের ঔজ্জ্বল্য, সাধারণ আয়নায় গঠিত প্রতিবিম্বের চেয়ে বেশী হবে।

পূর্ণ প্রতিফলন প্রিজমকে দর্পণের ন্যায় ব্যবহার করা চলে। দুটি একই কাচের এবং সমদ্বিবাহু প্রিজমের ব্যবহার ক'রেও পেরিস্কোপ ( fig. 93 ) তৈরি করা যেতে পারে।

যে-কোন সমকোণী সমদ্বিবাহু প্রিজম-এর সমবাহুদ্বয়ের যে-কোন একটির সমান্তরাল হয়ে আলোক-রশ্মি প্রবেশ করলে পূর্ণ প্রতিফলনের পর সেটি অপর বাহুর সমান্তরাল হয়ে বার হয়। এখানে দুটি প্রিজম্-এর সাহায্যে পেরিস্কোপ তৈরী করা হয়েছে। আয়নার বদলে প্রিজম্ ব্যবহার ক'রে পেরিস্কোপ তৈরি করলে বস্তুর প্রতিবিম্ব আরো স্পষ্টভাবে দেখা যায়। কারণ, সমতল আয়না—বায়ুর সংস্পর্শে থাকে ব'লে প্রতিফলিত রশ্মির ঔজ্জ্বল্য হ্রাস পায়। প্রিজমে বিক্ষেপণ দ্বারা আলোক নষ্ট হয় না ব'লে, প্রতিবিম্বের ঔজ্জ্বল্য কমে না।

<u>কোন আলোক-রশ্মির 180° দিক্ বিচ্যুতি ঃ</u>

আগের প্রিজম্‌টিকে পাশের চিত্রের ( fig. 94 ) মতো ঘুরিয়ে বসালে, দু'বার সম্পূর্ণ প্রতিফলন ঘটিয়ে 180° দিক্-বিচ্যুতি পাওয়া সম্ভব। আলোক-রশ্মি অতিভুজ তলে লম্বভাবে আপতিত হয়ে পর পর অন্য দুই তলে সম্পূর্ণ প্রতিফলিত হয় ও অতিভুজ তলেই লম্বভাবে নির্গত হয়। এক্ষেত্রে লক্ষণীয় যে, প্রতিফলনের পর উপরের বিন্দু থেকে (Q) রশ্মি নীচে ও নীচের বিন্দু থেকে (P) রশ্মি উপরে চলে গেছে। সেজন্য বস্তুর প্রতিবিম্ব উল্টো দেখাবে। অর্থাৎ, QP বস্তুর প্রতিবিম্ব P′Q′ হবে।

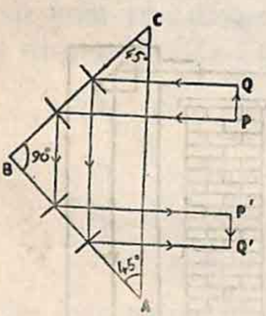



Fig. 94

77. প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক, প্রিজমের কোণ এবং চ্যুতি-কোণের মধ্যে সম্পর্ক স্থাপন কর।

[Obtain the relation between angle of minimum deviation, angle of the prism and the refractive index of the material of prism.]

ধরা যাক, ABC হ'ল কোন প্রিজম্-এর প্রধান ছেদ। PQ কোন আপতিত রশ্মি বায়ু থেকে AB পৃষ্ঠে আপতিত হ'ল। এক্ষেত্রে আলোকরশ্মি লঘুতর মাধ্যম থেকে ঘনতর মাধ্যমে প্রবেশ করার ফলে প্রতিসৃত রশ্মি অভিমুখে সরে যাবে ( fig. 95 )।

প্রতিসৃত হওয়ার পর রশ্মিটি QR পথে চলবে। এরপর ঐ রশ্মি AC তলে R বিন্দুতে আপতিত হয়ে আবার বায়ু-মাধ্যমে নির্গত হবে। তাহলে, আবার, রশ্মিটির প্রতিসরণ হবে ও কাচ থেকে বায়ুতে যাচ্ছে ব'লে, প্রতিসৃত রশ্মি লম্ব থেকে দূরে সরে গিয়ে RS পথে চলবে। ∠N'RS-কে **বহির্গমন কোণ** (angle of emergence) বলে। প্রিজম্ না থাকলে PQ আলোক-রশ্মি POL পথে চলতো, কিন্তু প্রিজম্‌টি থাকার জন্য ORS পথে রশ্মি বেঁকে গিয়েছে।

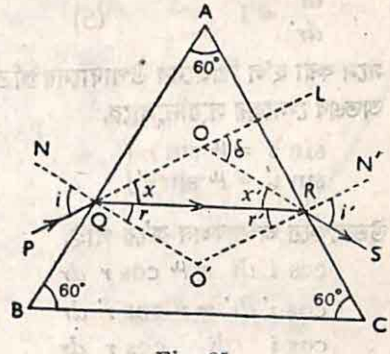



Fig. 95

তাহলে ∠LOR (=δ ধরা হ'ল) আলোক-রশ্মির **বিচ্যুতি কোণ** (angle of deviation)।

এখন AB তলের উপর আপতন কোণ $i = \angle PQN$ ও প্রতিসরণ কোণ $\angle r = RQO'$ ; AC তলের উপর আপতন কোণ $r' = \angle QRO'$ ও বহির্গমন কোণ $i' = \angle N'RS$। এখন $\angle OQR = \angle x$ ও $\angle ORQ = \angle x'$ ধরলে বিচ্যুতি কোণ $= \delta = \angle x + \angle x'$ (ত্রিভুজের বহিঃস্থ কোণ এর অন্তঃস্থ দুই কোণের সমষ্টির সমান)।

$$\therefore \quad \delta = i - r + i' - r' = i + i' - (r + r') \qquad (1)$$

প্রিজম্-এর কোণ ∠BAC-কে A বলা হ'ল। NQO' ও N'RO' যথাক্রমে AB ও AC-র উপর অভিলম্ব।

এছাড়া, $\angle AQR = 90° - r$ ও $\angle ARQ = 90° - r'$.

এখন AQR ত্রিভুজে,

$$\angle A + \angle AQR + \angle ARQ = 180°$$

বা, $A + 90° - r + 90° - r' = 180°$

বা, $A = r + r'$ (2)

A-র মান (1)-এ বসালে,

$$\delta = i + i' - A \qquad (3)$$

(3)-নং সমীকরণটি হ'ল প্রিজমের মধ্য দিয়া আলোক-রশ্মি প্রতিসৃত হলে উহার চ্যুতি কোণের রাশিমালা।

**অবম চ্যুতি কোণের শর্ত নির্ণয়ঃ**

(3) নং সমীকরণকে অন্তরকলন ক'রে পাই,

$$\frac{di}{di'} = -1 \qquad (4) \qquad [\because \text{ অবম চ্যুতির ক্ষেত্রে } d(\delta) = 0 ]$$

(2) নং সমীকরণকে অন্তরকলন ক'রে পাই,

$$\frac{dr}{dr'}=1 \qquad (5) \qquad [\because \text{A একটি ধ্রুবক কোণ, } d\text{A}=0]$$

মনে করা হ'ল প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাংক $=\mu$

অতএব স্নেলের সূত্রানুসারে,

$$\left.\begin{array}{l}\sin i=\mu\sin r\\ \sin i'=\mu\sin r'\end{array}\right\} \qquad (6)$$

উভয়ক্ষেত্রে অন্তরকলন ক'রে পাই,

$$\cos i\ di=\mu\cos r\ dr'$$

$$\cos i'\ di'=\mu\cos r'\ dr'$$

$$\therefore\ \frac{\cos i}{\cos i'}\cdot\frac{di}{di'}=\frac{\cos r}{\cos r'}\cdot\frac{dr}{dr'}$$

বা, $\dfrac{\cos i}{\cos i'}=\dfrac{\cos r}{\cos r'}$ $\qquad \left[\because\ \dfrac{di}{di'}=-1 \text{ এবং } \dfrac{dr}{dr'}=-1\right]$

বর্গ করিয়া,

$$\frac{\cos^2 i}{\cos^2 i'}=\frac{\cos^2 r}{\cos^2 r'}$$

বা, $\dfrac{1-\sin^2 i}{1-\sin^2 i'}=\dfrac{1-\sin^2 r}{1-\sin^2 r'}$

বা, $\dfrac{1-\mu^2\sin^2 r}{1-\mu^2\sin^2 r'}=\dfrac{1-\sin^2 r}{1-\sin^2 r'}$

$$=\frac{(1-\mu^2\sin^2 r)}{(1-\mu^2\sin^2 r')}-\frac{(1-\sin^2 r}{(1-\sin^2 r')}$$

$$=\frac{\sin^2 r}{\sin^2 r'}$$

$$\therefore\ \frac{\sin^2 r}{\sin^2 r'}=\frac{1-\sin^2 r}{1-\sin^2 r'}=\frac{\sin^2 r+(1-\sin^2 r)}{\sin^2 r'+(1-\sin^2 r')}=1$$

$\therefore\ \sin r=\sin r'$

বা, $r=r'$ $\qquad (7)$

(6)নং সমীকরণে $r=r'$ বসাইয়া পাই,

$$i=i' \qquad (8)$$

অতএব $i=i'$ এবং $r=r'$ হলে রশ্মির চ্যুতিকোণ অবম হবে।

এখন আপতন কোণ ও বিচ্যুতি কোণের বিভিন্ন মানের জন্য লেখচিত্র আঁকলে দেখা যাবে যে, সেটি প্রকৃতিতে অধিবৃত্তীয় ( parabolic ) হবে।

দেখা যাচ্ছে ( fig. 96 ) যে, যখন আপতন কোণের মান OC, তখন বিচ্যুতি কোণ সর্বনিম্ন (চিত্রে OD ) হয়েছে। এই বিশেষ ক্ষেত্রে, যদি বহির্গমন কোণ মাপা হয়, তবে দেখা যাবে যে $i = i'$.

যদি সেই অবস্থায় $r$ ও $r'$—এই দুই কোণের পরিমাপ করা হয়, তাহলে আরও দেখা যাবে যে, $r = r'$.

অতএব, $\delta$ যখন সর্বনিম্ন, তখন $i = i'$ ও $r = r'$ হবে। এইক্ষেত্রে $\delta$-কে $\delta_m$ লেখা হয়ে থাকে।

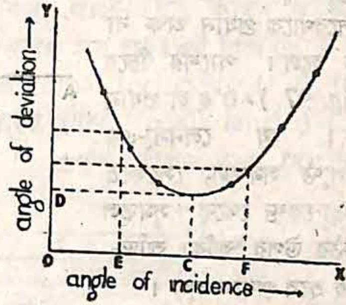



Fig. 96

**প্রিজম্-এর উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক ঃ**

(2) ও (3) নং সমীকরণ থেকে আমরা পেয়েছি,

$A = r + r'$ এবং $\delta = i + i' - A$.

আপতন কোণ ও বহির্গমন কোণ যখন সমান, তখনই বিচ্যুতি কোণ সর্বনিম্ন হয়। সর্বনিম্নের ক্ষেত্রে $\delta$ কে $\delta_m$ দ্বারা সূচিত করা হয়। $i = i'$ ব'লে (3) নং সমীকরণ থেকে

$$\delta_m = i + i' - A \quad \therefore \quad i = \frac{\delta_m + A}{2}$$

আবার $i = i'$ হলে সহজেই প্রমাণ করা যায় যে, $r = r'$

তাহলে (2) নং সমীকরণ থেকে, $A = 2r$ বা, $r = \frac{A}{2}$

$$\text{প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক } \mu = \frac{\sin i}{\sin r} = \frac{\sin\frac{\delta_m + A}{2}}{\sin\frac{A}{2}} \qquad (9)$$

(9)-নং সমীকরণটি হ'ল প্রিজমের উপাদানের প্রতিসরাঙ্ক, প্রিজমের কোণ এবং চ্যুতিকোণের অবম মানের মধ্যে সম্পর্ক-যুক্ত রাশিমালা।

78. একটি লেন্সের আলোক-কেন্দ্র, প্রধান অক্ষ এবং ফোকাস কাকে বলে? একটি উত্তল লেন্স দ্বারা প্রতিবিম্ব গঠনের ক্ষেত্রে বস্তু-দূরত্ব, প্রতিবিম্ব-দূরত্ব এবং ফোকাস-দৈর্ঘ্যের মধ্যে সম্পর্ক প্রতিষ্ঠা কর। বিবর্ধন বলিতে কি বুঝ?

[Define : Optical centre of a lens, principal axis and focus of a lens. Obtain a relation between object distance, image distance and focal length in case of formation of image by a convex lens. What is magnification ?]

● **প্রধান অক্ষ বা অক্ষ ঃ**

লেনস্-এর দুই বক্রতা কেন্দ্রাবিন্দু সংযোগকারী সরলরেখাকে প্রধান অক্ষ বা অক্ষ বলে। পাশের চিত্রে ( fig. 97 ) AB হ'ল প্রধান অক্ষ। যে লেনস্-এর একপৃষ্ঠ সমতল, সেক্ষেত্রে বক্রতা-কেন্দ্র থেকে সমতল পৃষ্ঠের উপর আঁকা অভিলম্বই হবে প্রধান অক্ষ।

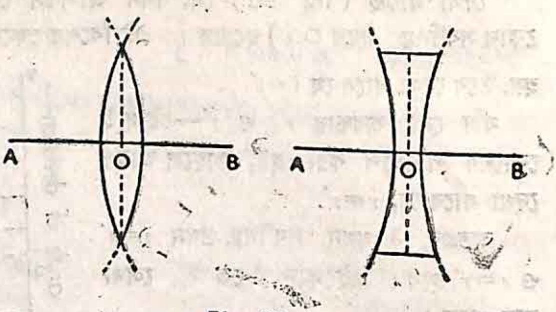


Fig. 97

● **আলোক-কেন্দ্র বা লেনস্-কেন্দ্র ঃ**

লেনস্-এর ভিতর এবং প্রধান অক্ষের উপর এমন একটি বিন্দু আছে যে, কোন প্রতিসৃত রশ্মি যদি ঐ বিন্দু দিয়ে যায়, তাহলে আপতিত রশ্মি ও বহির্গমন রশ্মি সমান্তরাল হয়। ঐ বিন্দুকে আলোক-কেন্দ্র বা লেনস্ কেন্দ্র বলে। পাশের চিত্রে (fig. 98 ) PQ রশ্মি লেনস্-এর একটি পৃষ্ঠে আপতিত হয়েছে। Q-বিন্দুতে CQT স্পর্শক টেনে NQN' লম্ব টানা হয়েছে। অর্থাৎ, NQN' হ'ল অভিলম্ব। কাচের মধ্য দিয়ে QR হ'ল প্রতিসৃত রশ্মি। R বিন্দুতে আবার, আলোক-রশ্মি কাচ থেকে বায়ু মাধ্যমে যাচ্ছে ব'লে, আবার প্রতিসরণ হবে। দ্বিতীয়বারের প্রতিসৃত রশ্মি (অর্থাৎ, বহির্গমন রশ্মি ) যদি আপতিত রশ্মির সমান্তরাল হয়, তবে প্রতিসৃত রশ্মি প্রধান অক্ষকে যে বিন্দুতে ছেদ করে, সেটাই আলোক-কেন্দ্র বা লেনস্ কেন্দ্র। PQ আপতিত রশ্মি, RS বহির্গমন রশ্মি এবং এরা সমান্তরাল। QR প্রতিসৃত রশ্মি, AB প্রধান অক্ষকে O বিন্দুতে ছেদ করেছে। অতএব, O বিন্দুই হ'ল আলোক-কেন্দ্র। অবশ্য খুব পাতলা লেনস্-এর ক্ষেত্রে বলা যেতে পারে, লেনস্-এর প্রধান অক্ষে অবস্থিত এমন একটি বিন্দু আছে যে, কোন রশ্মি ঐ বিন্দুর মধ্য দিয়ে গেলে প্রতিসরণের জন্য এর দিক-বিচ্যুতি হয় না, এরা সোজাসুজি অর্থাৎ অপরিবর্তিত পথে বার হয়ে যায়। ঐ বিন্দুটিকে আলোক-কেন্দ্র বা লেন্স-কেন্দ্র বলে ( চিত্রে O বিন্দু )। লেন্স অত্যন্ত পাতলা হলে, প্রধান অক্ষের উপর এবং লেন্স-এর ভিতর অবস্থিত যে-কোন বিন্দুকেই লেন্স-কেন্দ্র ধরা যেতে পারে।

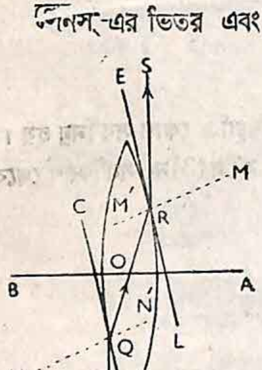


Fig. 98

● **ফোকাস ও ফোকাস-দূরত্ব ঃ**

উত্তল লেনস্-এ প্রধান অক্ষের উপর এমন একটি বিন্দু আছে, যেখান থেকে অপসৃত

আলোক-রশ্মি লেনস্-এ প্রবেশ ক'রে প্রতিসরণের পর প্রধান অক্ষের সমান্তরাল হয়ে যায়। সেই রকম অবতল লেনস্-এ একটি বিন্দু আছে, যার অভিমুখে আগত সকল রশ্মি প্রতিসরণের পর প্রধান অক্ষের সমান্তরাল হয়ে যায়। এই বিন্দুকে (উভয় ক্ষেত্রেই) লেনসের **প্রথম প্রধান ফোকাস** (first principal focus) বলে। এই বিন্দু থেকে লেনস্-কেন্দ্রের দূরত্বকে **প্রথম ফোকাস দূরত্ব** (first focal length) বলে। নীচের চিত্রে (fig. 99) $F_1$ প্রধান ফোকাস ও $f_1$ প্রথম ফোকাস দূরত্ব বোঝাচ্ছে।

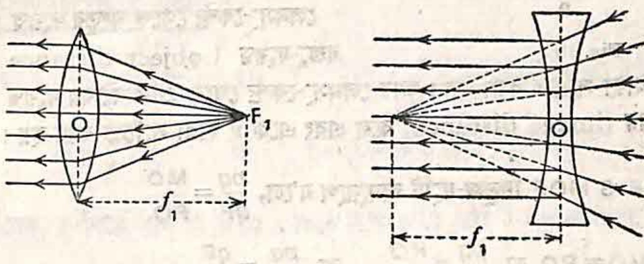



Fig. 99

প্রধান অক্ষের সমান্তরাল সব রশ্মিই উত্তল লেনস্-এ প্রতিসরণের পর প্রধান অক্ষের উপরে অবস্থিত একটি নির্দিষ্ট বিন্দুতে মেলে। আবার, অবতল লেনস্-এ প্রধান অক্ষের সমান্তরাল সকল আলোক-রশ্মি প্রতিসরণের পর একটি নির্দিষ্ট বিন্দু থেকে বার হয়ে

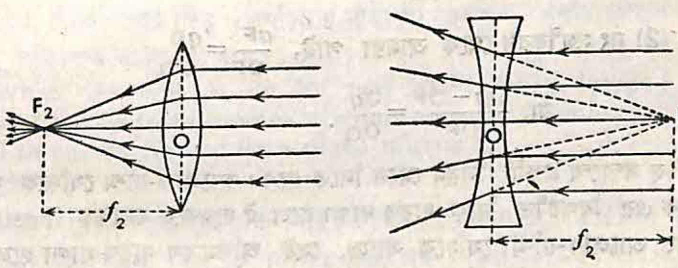



Fig . 100

আসছে ব'লে মনে হয় (fig. 100)। এই বিন্দুকে (উভয় ক্ষেত্রেই) লেনস্-এর **দ্বিতীয় প্রধান ফোকাস** (second principal focus) বলে ও এই বিন্দু থেকে লেনস্-কেন্দ্রের দূরত্বকে **দ্বিতীয় ফোকাস দূরত্ব** (second focal length) বলে। চিত্রে (fig. 100) $F_2$—দ্বিতীয় প্রধান ফোকাস ও $f_2$—দ্বিতীয় ফোকাস-দূরত্ব বোঝাচ্ছে।

● **উত্তল লেনস্-এ প্রতিবিম্বের অবস্থান :**

AB একটি উত্তল লেনস্ (fig. 101)। O-এর আলোক-কেন্দ্র এবং $qOQ$ প্রধান অক্ষ। PQ বস্তুটি অক্ষের উপর Q বিন্দুতে OQ-এর উপর লম্বভাবে অবস্থিত। PQ বস্তুটিকে অসংখ্য বিন্দুর সমষ্টি কল্পনা করা যায়। QO রশ্মি O (আলোক-কেন্দ্র) বিন্দু দিয়ে যাচ্ছে ব'লে সেটি সোজা ঐ রেখা বরাবরই চলে যাবে। P বিন্দু থেকে PM-রশ্মি প্রধান অক্ষের সমান্তরাল হয়ে লেনস্-এ পড়ছে ; অতএব, সেটি দ্বিতীয়

প্রধান ফোকাসের মধ্য দিয়ে MF পথে যাবে। এ ছাড়া P বিন্দু থেকে PO রশ্মি সোজা বার হয়ে যাবে। ধরা যাক, MF ও PO-কে বাড়ালে এরা $p$ বিন্দুতে মিলিত হয়। $p$ থেকে প্রধান অক্ষের উপর অঙ্কিত $pq$ লম্বই হবে PQ বস্তুর প্রতিবিম্ব। এটি প্রকৃতিতে সদ্।

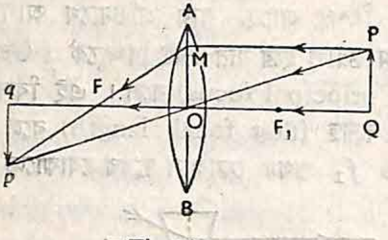



Fig. 101

লেনস্-কেন্দ্র থেকে বস্তুর দূরত্ব OQ-কে **বস্তু-দূরত্ব** (object distance) বলে এবং একে $u$ দ্বারা সূচিত করা হয়। আর লেনস্-কেন্দ্র থেকে প্রতিবিম্বের দূরত্ব O$q$-কে **প্রতিবিম্ব-দূরত্ব** (image distance) বলে এবং একে $v$ দ্বারা সূচিত করা হয়।

এখন $pq$F ও MOF ত্রিভুজ-দুটি অনুরূপ ব'লে, $\frac{pq}{q\text{F}}=\frac{\text{MO}}{\text{FO}}$

আবার, MO = PQ বা, $\frac{pq}{q\text{F}}=\frac{\text{PQ}}{\text{FO}}$. বা, $\frac{pq}{\text{PQ}}=\frac{q\text{F}}{\text{FO}}$. (1)

একই ভাবে, PQO ও $pq$O ত্রিভুজ-দুটি অনুরূপ ব'লে $\frac{pq}{q\text{O}}=\frac{\text{PQ}}{\text{OQ}}$

বা, $\frac{pq}{\text{PQ}}=\frac{q\text{O}}{\text{OQ}}$. (2)

(1) ও (2) নং সমীকরণ থেকে আমরা পাই, $\frac{q\text{F}}{\text{OF}}=\frac{q\text{O}}{\text{OQ}}$

বা, $\frac{\text{O}q-\text{OF}}{\text{OF}}=\frac{\text{O}q}{\text{OQ}}$. (3)

এখন চিহ্ন সম্বন্ধে একটি নিয়ম মেনে নিতে হবে। আলোক-রশ্মি যেদিকে যাচ্ছে, লেনস্ থেকে এর বিপরীত দিকে দূরত্ব মাপা হলে ঐ দূরত্বকে ধনাত্মক (positive) ধরা হয় এবং আলোক-রশ্মি যেদিকে যাচ্ছে, সেই অভিমুখে দূরত্ব মাপা হলে সেই দূরত্বকে ঋণাত্মক (negative) ধরা হয়।

তাহলে, বস্তু-দূরত্ব = OQ = $+u$, প্রতিবিম্ব-দূরত্ব = O$q$ = $-v$ এবং

ফোকাস্-দূরত্ব = OF = $-f$.

(3) নং সমীকরণ থেকে, $\frac{-v+f}{-f}=\frac{-v}{u}$ বা, $\frac{v}{f}-1=-\frac{v}{u}$

বা, $\frac{1}{f}-\frac{1}{v}=-\frac{1}{u}$ (উভয়পক্ষকে $v$ দিয়ে ভাগ ক'রে)

বা, $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ (4)

● **রৈখিক বিবর্ধন :**

রৈখিক বিবর্ধন বলতে প্রতিবিম্বের আকারের সঙ্গে বস্তুর আকারের অনুপাতকে বোঝায়। ইহাকে $m$ দ্বারা সূচিত করা হয়।

চিত্রানুসারে (fig. 101)

$$m=\frac{pq}{PQ}=\frac{Oq}{OQ}=\frac{v}{u}$$

এতে $u$ ও $v$-এর যথাযথ চিহ্ন বসিয়ে বিবর্ধন ঋণাত্মক হলে বোঝা যাবে যে, প্রতিবিম্ব উল্টো বা অবশীর্ষ এবং ধনাত্মক হলে বোঝা যাবে, প্রতিবিম্ব খাড়া বা সমশীর্ষ।

**$m$-এর মানের অন্যভাবে প্রকাশ :**

আমরা জানি, $\frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ বা, $1-\frac{v}{u}=\frac{v}{f}$ [ $v$ দিয়ে উভয়পক্ষকে গুণ ক'রে )

বা, $1-m=\frac{v}{f}$ বা, $1-\frac{v}{f}=m$ অর্থাৎ, $m=\frac{f-v}{f}$

সেইরকম, $v$ দিয়ে গুণ না ক'রে $u$ দিয়ে গুণ ক'রে এবং $\frac{u}{v}$-এর জায়গায় $\frac{1}{m}$ ব্যবহার করলে দেখা যাবে $m=\frac{f}{u+f}$

**বিবর্ধনের কোন একক নেই ; এটি একটি অনুপাত মাত্র।**

79. সদ্ এবং অসদ্ প্রতিবিম্ব বলিতে কি বুঝ ? একটি উত্তর লেন্স্ দ্বারা সৃষ্ট অসদ্ প্রতিবিম্বের গঠন লেখচিত্রের সাহায্যে দেখাও। একটি সমতল দর্পণ দ্বারা কি সদ্ প্রতিবিম্ব গঠন করা যায় ?

[ What do you mean by real and virtual image ? Show graphically the formation of virtual image by a convex lens. Can a real image by formed by a plane mirror ? ]

● **প্রতিবিম্ব :**

**সংজ্ঞা :** কোন বিন্দু থেকে অপসারী আলোক-কিরণ যখন প্রতিফলিত বা প্রতিসৃত হয়ে অন্য আর এক বিন্দুতে মিলিত হয় অথবা অন্য কোন বিন্দু থেকে অপসৃত

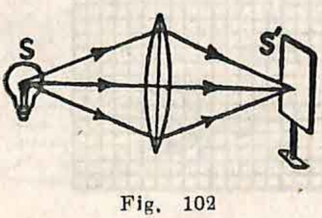


Fig. 102

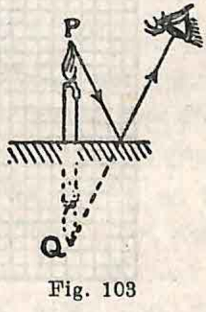


Fig. 103

হচ্ছে ( বা, ছড়িয়ে পড়ছে) ব'লে মনে হয়, তখন ঐ দ্বিতীয় বিন্দুকে প্রথম বিন্দুর প্রতিবিম্ব বলে (fig. 102 & 103 )।

প্রতিবিম্ব দু' রকমের হয়—সদ্‌বিম্ব এবং অসদ্‌ বিম্ব। সদ্‌বিম্ব চোখে দেখা যায়, আর পর্দার উপরে ফেলা যায়; কিন্তু অসদ্‌ বিম্বকে কেবল দেখতে পাওয়া যায়, পর্দার উপর ফেলা যায় না। সমতল আয়নায় কোন জিনিসের যে প্রতিবিম্ব তৈরী হয়, সেটা অসদ্‌ প্রতিবিম্ব। পাশের চিত্রে P থেকে আলোক-রশ্মি আয়নায় প্রতিফলিত হওয়ার পর চোখে পড়ছে ( fig. 103 )। মনে হচ্ছে যে, আলোক-রশ্মি Q থেকে আসছে। এখানে Q হ'ল P বিন্দুর অসদ্‌বিম্ব।

102নং চিত্রে উভোত্তল লেনস্‌-এ প্রতিসরণের ফলে পর্দায় সদ্‌বিম্ব দেখা যাচ্ছে। কারণ, S বিন্দু থেকে নির্গত আলোক-রশ্মিগুলি লেনস্‌-এর মধ্য দিয়ে প্রতিসরণের পর যথার্থই S' বিন্দুতে মিলিত হচ্ছে।

**সদ্‌বিম্ব ও অসদ্‌ বিম্বের পার্থক্য :**

1. সদ্‌বিম্বকে আমরা দেখতে পাই এবং পর্দার উপরেও একে ফেলা যায়। কিন্তু অসদ্‌ বিম্ব কেবল চোখে দেখা যায়, একে পর্দার উপরে ধরা যায় না। এর প্রকৃত কোন অস্তিত্ব নেই।

2. বিন্দু-উৎস থেকে নির্গত আলোক-রশ্মি প্রতিফলন বা প্রতিসরণের পর কোন বিন্দুতে সত্যই মিলিত হলে, তবেই সদ্‌বিম্ব গঠিত হয়। আর যদি আলোক-রশ্মি প্রতিফলন বা প্রতিসরণের পর অন্য এক বিন্দু থেকে অপসৃত হচ্ছে ব'লে মনে হয়, তাহলে অসদ্‌ বিম্ব তৈরি হয়।

● **লেখচিত্রের সাহায্যে উত্তল লেন্স কর্তৃক সৃষ্ট অসদ্‌ প্রতীবিম্বের গঠন :**

**যখন বস্তু ফোকাস-দূরত্ব থেকে কম দূরত্বে অবস্থিত :**

ধরি, বস্তু-দূরত্ব থেকে আলোক-কেন্দ্র O-এর দূরত্ব হ'ল 6 cm। ছক কাগজে O-

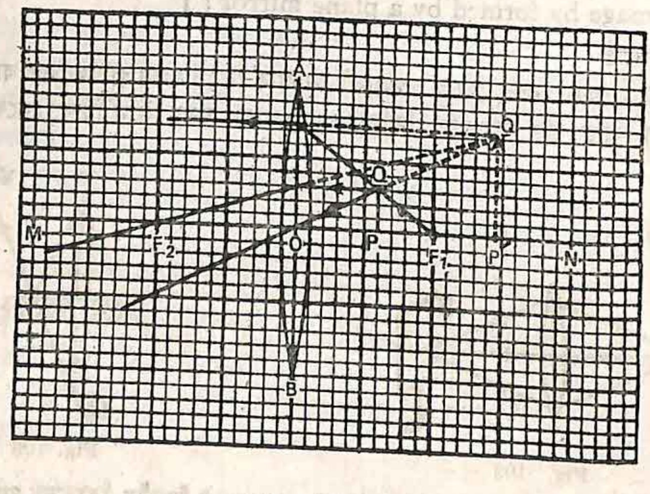



Fig. 104

বিন্দুর অবস্থান দেখিয়ে উত্তল লেনস্‌ AB আঁকলাম। লেনসের প্রধান অক্ষ MN-এর

উপর উল্লম্বভাবে বস্তু PQ-কে স্থাপন করা হ'ল। প্রতিসৃত রশ্মি যে প্রতিবিম্ব P'Q' উৎপন্ন করে, লেখচিত্র থেকে দেখা যায় যে, তার দূরত্ব আলোক-কেন্দ্র থেকে 14·5 cm [ fig. 104 ]। আবার, লেনসের বস্তু-দূরত্বের সাথে বিম্ব-দূরত্বের গাণিতিক নিয়ম থেকে পাওয়া যায়—বিম্ব-দূরত্ব $v=15$ cm, যা লেখচিত্র থেকে পাওয়া মানের প্রায় সমান।

এখানে প্রতিবিম্ব অসদ্, সমশীর্ষ ও বিবর্ধিত।

**সমতল আয়না দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্ব ঃ**

কোন সমতল আয়নার সামনে আলোকের বিন্দু-উৎস থাকলে প্রতিফলনের ফলে আয়নার পিছনে এর একটি অসদ্‌বিম্ব গঠিত হবে ; কখনই সদ্‌বিম্ব গঠিত হবে না। নিম্নে ইহার প্রমাণ দেওয়া হ'ল ঃ

ধরা হ'ল (i) ML একটি আয়না এবং A একটি বিন্দুর আলোক-উৎস। A থেকে AT রশ্মি আয়নায় অভিলম্বরূপে আপতিত হয়ে TA পথে লম্বভাবে প্রতিফলন হয়ে ফিরে আসবে। কারণ, এক্ষেত্রে আপতন কোণ 0° এবং আপতন কোণ ও প্রতিফলিত কোণ সমান হয় ব'লে সেটাও 0°। অতএব, সোজা যে আলোকরশ্মি আয়নায় পড়ছে, তার বিপরীত দিক থেকে সেই পথ বরাবরই ফিরে আসবে। AO আর একটি আপতিত রশ্মি, ON অভিলম্ব এবং OD প্রতিফলিত রশ্মি। DO ও AT উভয়কে বর্ধিত ক'রে এরা যদি A' বিন্দুতে মিলিত হয়, তবে A' হবে A-এর অসদ্ বিম্ব ( fig. 105 )।

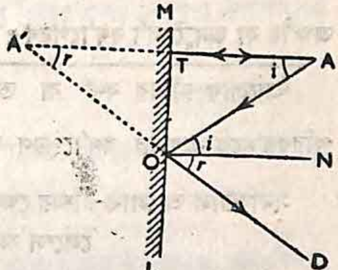


Fig. 105

80. একটি লেন্সের বর্ণাপেরণ এবং গোলাপেরণ বলিতে কি বুঝ ?

[What do you mean by chromatic and spherical aberration of a lens ?]

● **লেন্সে বর্ণাপেরণ ঃ**

আমরা জানি যে, যে-কোনও লেনস্‌ই কতগুলি ছোট ছোট প্রিজম্-এর সমষ্টি। যখন সাদা আলোক-রশ্মি লেনস্-এর উপর আপতিত হয়, তখন রশ্মিগুলি বিচ্ছুরিত হয়। বেগুনী রশ্মির প্রতিসরাঙ্ক, লাল রশ্মির প্রতিসরাঙ্কের চেয়ে বেশী ব'লে বেগুনী রশ্মির বিচ্যুতি বেশী হয়। এই রশ্মিগুলি লেনস্ এর কাছাকাছি এবং প্রধান অক্ষের উপরে একটি বিন্দু A-তে মিলিত হয়। লাল রশ্মিগুলি প্রধান অক্ষের উপরই দূরবতী কোনও একটি বিন্দু B-তে মেলে ( fig. 106 ) অন্যান্য বর্ণের রশ্মি A এবং B-র মধ্যবর্তী বিভিন্ন বিন্দুসমূহে মিলিত হয়। অর্থাৎ, বিভিন্ন রঙের ফোকাস-দূরত্ব বিভিন্ন হয়। অন্যভাবে

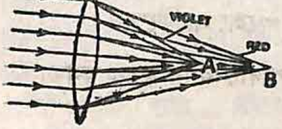


Fig. 106

বলা যেতে পারে, যেন ফোকাসটির বিস্তৃতি ঘটলো। একে বর্ণাপেরণ ( chromatic aberration) বলে। যদি A বিন্দু এবং লেনস্-এর মধ্যে লেনস্-এর অক্ষের সমান্তরাল ক'রে কোনও পর্দা রাখা যায়, তবে পর্দার মধ্য অংশ বেগুনী এবং বাইরের অংশ লাল হয়। পর্দাটিকে সমান্তরালভাবে বেশ খানিকটা সরিয়ে আনলে ( চিত্রে A এবং B-এর মধ্যবর্তী স্থানে ) মধ্য অংশ লাল এবং বাইরের অংশ বেগুনী হবে।

**সংজ্ঞা ঃ** সাদা আলোক-রশ্মি লেনস্-এর মধ্য দিয়ে বিচ্ছুরিত হয়ে যখন লেনস্-এর ফোকাসটিকে কোনও বিন্দুতে না রেখে বিস্তৃত করে, তখন তাকে বর্ণাপেরণ (chromatic aberration) বলে।

বর্ণাপেরণকে দু'ভাগে ভাগ করা যায়। যথা ঃ

(i) **অক্ষীয় বা অনুদৈর্ঘ্য বর্ণাপেরণ ত্রুটি** ( Axial chromatic error )

(ii) **পার্শ্বীয় বা তির্যক্ বর্ণাপেরণ ত্রুটি** ( Lateral chromatic error )

**অক্ষীয় বা অনুদৈর্ঘ্য বর্ণাপেরণ ঃ**

'আলোক-রশ্মির বর্ণ বা তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পরিবর্তনের সঙ্গে প্রতিবিম্ব দূরত্বের পরিবর্তনকে অক্ষীয় বর্ণাপেরণ বলে। ইহাকে $\frac{\delta v}{\delta \lambda}$ দ্বারা সূচিত করা হয়।

সমান্তরাল আলোক-রশ্মির ক্ষেত্রে গণনা দ্বারা দেখা যায় যে,

$$\text{লেন্সে অক্ষীয় বর্ণাপেরণ} = \omega f$$

যেখানে $\omega$ = লেন্সের বর্ণ-বিচ্ছুরণ ক্ষমতা, $f$ = হলুদ বর্ণের ক্ষেত্রে লেন্সের ফোকাস-দৈর্ঘ্য, অর্থাৎ, লেন্সে অক্ষীয় বর্ণাপেরণ = লেন্সের উপাদানের বিচ্ছুরণ ক্ষমতা × মধ্যক বর্ণের ক্ষেত্রে লেন্সের ফোকাস-দৈর্ঘ্য।

**পার্শ্বীয় বা তির্যক বর্ণাপেরণ ঃ**

আলোক-রশ্মির বর্ণের বা তরঙ্গদৈর্ঘ্যের পরিবর্তনের সহিত প্রতিবিম্বের দৈর্ঘ্যের পরিবর্তনকে পার্শ্বীয় বর্ণাপেরণ বলে। ইহাকে $\frac{dy}{d\lambda}$ দ্বারা সূচিত করা হয়।

সমান্তরাল আলোক-রশ্মির ক্ষেত্রে গণনা দ্বারা দেখা যায় যে,

$$\text{লেন্সে পার্শ্বীয় বর্ণাপেরণ} = \frac{\omega d}{2}$$

যেখানে $d$ = লেন্সের উন্মেষ।

অর্থাৎ, লেন্সে পার্শ্বীয় বর্ণাপেরণ = $\frac{1}{2}$ × লেন্সের উপাদানের বিচ্ছুরণ-ক্ষমতা × লেন্সের উন্মেষ।

অতএব, **অক্ষীয় বর্ণাপেরণ** এবং **পার্শ্বীয় বর্ণাপেরণের** যুক্ত প্রভাবের ফলে প্রতিবিম্ব রঙীন এবং অস্পষ্ট হয়। প্রতিবিম্বের এই ত্রুটিকেই **বর্ণাপেরণ** বলা হয়।

প্রতিকার (Remedy) :

বিভিন্ন উপাদানের দুই বা ততোধিক লেন্সকে পরস্পরের সংস্পর্শে রেখে একটি লেন্স সমন্বয় গঠন ক'রে বর্ণাপেরণ হ্রাস করা যায়। যদিও কেবলমাত্র দুটি বর্ণের ক্ষেত্রে বর্ণাপেরণ মুক্ত করা সম্ভব, তথাপি এই ধরনের সমন্বয়কে **অবর্ণ লেন্স সমন্বয়** বলে। এই ধরনের লেন্স সমন্বয় দূরবীক্ষণের অভিলক্ষ্য হিসাবে ব্যবহৃত হয়।

**একক লেন্সের অবর্ণতার শর্ত হ'ল :** $\frac{\omega}{f}=0$

যেখানে $\omega$ = বিচ্ছুরণ ক্ষমতা, $f$ = লেন্সের ফোকাস-দৈর্ঘ্য।

**দুটি সংলগ্ন লেন্স কর্তৃক গঠিত সমন্বয়ের অবর্ণতার শর্ত হ'ল :**

$$\frac{\omega_1}{f_1}=\frac{\omega_2}{f_2}=0$$

যেখানে $\omega_1$ = লাল এবং বেগুনী বর্ণের পাল্লার ভিতর প্রথম লেন্সের উপাদানের বিচ্ছুরণ ক্ষমতা ;

$f_1$ = প্রথম লেন্সের ফোকাস-দৈর্ঘ্য ;

$\omega^2$ = লাল এবং বেগুনী বর্ণের পাল্লার ভিতর দ্বিতীয় লেন্সের উপাদানের বিচ্ছুরণ ক্ষমতা ;

$f_2$ = দ্বিতীয় লেন্সের ফোকাস-দৈর্ঘ্য।

**পরস্পর হইতে ব্যবধানে রক্ষিত দুটি লেন্স দ্বারা গঠিত সমন্বয়ের অবর্ণতার শর্ত হল :**

$$\frac{\omega_1}{f_1}+\frac{\omega_2}{f_2}+\frac{d}{f_1 f_2}(\omega_1+\omega_2)=0$$

যেখানে $d$ = দুটি লেন্সের মধ্যে দূরত্ব।

● **লেন্সে গোলাপেরণ :**

যখন সমান্তরাল আলোক রশ্মিগুচ্ছ কোন তল থেকে বিস্তৃত উন্মেষে প্রতিফলিত বা প্রতিসৃত হয়, তখন কেন্দ্রীয় এবং পরিসীমা বরাবর আপতিত রশ্মিগুচ্ছ তল থেকে প্রতিফলিত বা প্রতিসৃত হয়ে অক্ষের বিভিন্ন বিন্দুতে প্রতিবিম্ব সৃষ্টি করে। প্রতিবিম্বের এই ধরনের ত্রুটিকে **গোলাপেরণ** (spherical aberration) বলে (fig. 107)। প্রান্তীয় এবং কেন্দ্রীয় আপতিত রশ্মি প্রতিফলন বা প্রতিসরণের পরে উৎপন্ন প্রতিবিম্বের পারস্পরিক দূরত্ব দ্বারা তলের **অনুদৈর্ঘ্য গোলাপেরণের** (longitudinal spherical a erration) পরিমাপ করা হয়।

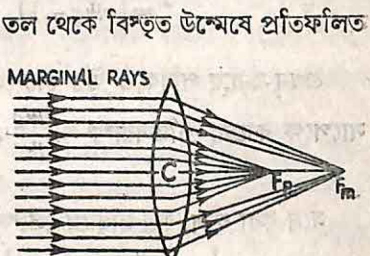


Fig. 107

অক্ষের উপর অন্তিম দুই প্রতিবিম্বের অবস্থানের মধ্যে একটি সমোজ্জ্বল রশ্মিদীপ্ত

বৃত্ত ( circle of least confusion ) পাওয়া যায়। এই ব্যাসার্ধকে তলের তির্যক্ গোলাপেরণ ( lateral spherical aberration ) এর মান হিসাবে ধরা হয়।

**দ্রষ্টব্য ঃ** তলের প্রান্ত থেকে শুরু ক'রে পরপর যুগ্ম আপতিত রশ্মিগুচ্ছের জন্য প্রতিফলিত বা প্রতিসৃত রশ্মিগুচ্ছ আঁকা হলে দেখা যাবে, প্রতিবিম্ব বিভিন্ন বিন্দুতে উৎপন্ন হচ্ছে। এদের যোগ করলে যে বক্ররেখা ( curve ) পাওয়া যায়, তাকে **কষ্টিক বক্ররেখা** ( caustic curve ) বলে। তলের উপরের ও নীচের রশ্মিগুলির জন্য এই রকম দুটি বক্ররেখা হয়।

**প্রতিকার** ( Remedy ) **ঃ**

($a$) **স্টপের সাহায্যে ঃ** কোন তলের প্রান্তীয় বা কেন্দ্রীয় রশ্মির উন্মেষ কমিয়ে তলের গোলাপেরণ কমানো হয়।

($b$) **মান বিচ্যুতির সাহায্যে ঃ** দুই লেনস্ এমনভাবে রাখা হয় যে, এদের মধ্যেকার দূরত্ব লেনস্-দুটির ফোকাস-দূরত্বের অন্তরফলের সমান। যদি $f_1$ এবং $f_2$ লেনস্-দুটির ফোকাস-দূরত্ব হয়, তাহলে উভয়ের মধ্যে দূরত্ব $= f_1 \sim f_2$ করতে হবে।

81. লেন্সের চতুষ্পার্শ্বস্থ মাধ্যম পরিবর্তন করা হলে একটি লেন্সের ফোকাস-দৈর্ঘ্য পরিবর্তন হবে কি? যুক্তি-সহকারে ব্যাখ্যা কর।

[Will the focal length of a lens be changed if the medium surrounding the lens be changed? Explain your answer.]

লেন্সের ফোকাস-দূরত্ব ($f$) লেন্সের চতুষ্পার্শ্বস্থ মাধ্যমের প্রকৃতির উপর নির্ভরশীল।

কোন কাচ-লেন্সের দুই পৃষ্ঠের বক্রতা-ব্যাসার্ধ যথাক্রমে $r_1$ এবং $r_2$ এবং বায়ু সাপেক্ষে কাচ-মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক $_a\mu_g$ হলে গণনা দ্বারা প্রমাণ করা যায় যে, উক্ত লেন্সের ফোকাস-দৈর্ঘ্য

$$\frac{1}{f} = \left({_a\mu_g} - 1\right) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right).$$

এখন বায়ুর পরিবর্তে উক্ত কাচ-লেন্সটিকে অন্য মাধ্যমে রাখা হলে উক্ত মাধ্যম সাপেক্ষে কাচের প্রতিসরাঙ্ক $= \frac{_a\mu_g}{\mu}$, যেখানে $\mu =$ বায়ু সাপেক্ষে উক্ত মাধ্যমের প্রতিসরাঙ্ক।

মনে করা হ'ল, উক্ত মাধ্যমে লেন্সের ফোকাস-দৈর্ঘ্য $= f_1$

অতএব, $\frac{1}{f_1} = \left(\frac{_a\mu_g}{\mu} - 1\right) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right).$

এখন $\mu > 1$ হলে $f_1 > f$ হবে। আবার, $\mu < 1$ হলে $f_1 < f$ হবে।

82. বর্ণালী কাকে বলে? কত প্রকারের বর্ণালী পাওয়া যায়? শুদ্ধ বর্ণালী কাকে বলে এবং কিভাবে ইহাকে সৃষ্টি করা যায়, তাহা বিবৃত কর।

[What is spectrum ? What are different types of spectrum ? What is pure spectrum and how can it be produced ?]

● **বর্ণালী** ( **Spectrum** ) ঃ

সাদা আলোক থেকে প্রিজম্-এর মধ্য দিয়ে প্রতিসরণের ফলে সাতটি মূল বর্ণের আলোক পাওয়ার পদ্ধতিকে আলোকের **বিচ্ছুরণ** ( dispersion ) বলে। সাতটি রঙের সমন্বয়ে যে আলোক-পটি ( band of light ) তৈরী হয়, তাকে **বর্ণালী** ( spectrum ) বলে। ( fig. 108 )

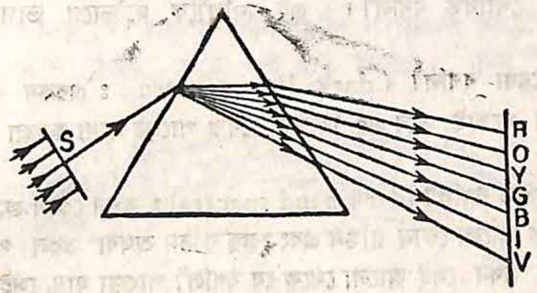



Fig. 108

● **বর্ণালীর প্রকারভেদ** ( **Kinds of Spectra** ) ঃ

বিভিন্ন উৎস থেকে যে সমস্ত বর্ণালী পাওয়া যায়, তাদের প্রধানতঃ দুই শ্রেণীতে ভাগ করা যায়। যথা—(1) নিঃসৃত বর্ণালী ও (2) শোষিত বর্ণালী।

**নিঃসৃত বর্ণালী** (Emission Spectra) ঃ

অতি উত্তপ্ত কোন বস্তু থেকে নিঃসৃত আলো বিশ্লেষণ ক'রে যে-বর্ণালী পাওয়া যায়, তাকে নিঃসৃত বর্ণালী বলা হয়। নিঃসৃত বর্ণালীকে তিন ভাগে ভাগ করা যায়। যথা—

(i) **অবিচ্ছিন্ন বর্ণালী** ( continuous spectra ) ঃ যে নিঃসৃত বর্ণালীতে লাল থেকে বেগুনী পর্যন্ত সাতটি রঙই একের পর এক অবিচ্ছিন্ন অবস্থায় থাকে, তাকে অবিচ্ছিন্ন বর্ণালী (continuous spectra) বলে। এই বর্ণালীতে বর্ণগুলির ঔজ্জ্বল্য মোটামুটি মাঝখানে সবচেয়ে বেশী থাকে।

(ii) **রেখা বর্ণালী** (line spectra) ঃ রেখা বর্ণালী কতকগুলি রেখা দ্বারা গঠিত থাকে। রেখাগুলি পরস্পরের থেকে কালো দাগ দ্বারা বিচ্ছিন্ন থাকে। এ-রকম বর্ণালী কখনও অবিচ্ছিন্ন হয় না। হাইড্রোজেন, অক্সিজেন, প্রভৃতি মৌলিক গ্যাসগুলি পোড়ালে যে-আলো নিঃসৃত হয়, তার থেকেই এই জাতীয় বর্ণালী পাওয়া যায়।

(iii) **পাড় বর্ণালী** ( band spectra ) ঃ কোন বায়বীয় পদার্থের অণু-নিঃসৃত আলো থেকে যে বর্ণালী পাওয়া যায়, তাকে বলা হয় পাড় বর্ণালী (band spectra)। এই বর্ণালীতেও অবিচ্ছিন্ন বর্ণালীর মতো সাতটি বর্ণই থাকে। এই জাতীয় বর্ণালীর অন্তর্গত বিভিন্ন পাড় (band)-এর ঔজ্জ্বল্য এক পাশে খুব বেশী থাকে এবং ক্রমশঃ

হাল্‌কা হতে হতে অন্য বর্ণের পাড়ের সঙ্গে মিশে যায়। এই বর্ণালীর বিভিন্ন বর্ণের পাড়গুলি বহুসংখ্যক রেখার ঘন সমাবেশে গঠিত হয়ে থাকে।

**শোষিত বর্ণালী** ( Absorbed Spectra ) :

যখন কোন স্বচ্ছ রঙিন বস্তুকে সাদা আলোর পথে রাখা হয়, তখন ঐ পদার্থটি নিজের রঙ অনুসারে কতকগুলি রশ্মি শোষণ করে। এর পর যে বর্ণালী পাওয়া যায়, তাতে দেখা যায় যে, পদার্থটি দ্বারা শোষিত বর্ণগুলি ঐ বর্ণালীতে নেই। এরকম বর্ণালীকে বলা হয় শোষিত বর্ণালী। এই বর্ণালীকে দু'ভাগে ভাগ করা যায়। যথা—

(i) **কালো রেখা বর্ণালী** ( dark line spectra ) : এরকম বর্ণালী প্রায় অবিচ্ছিন্ন বর্ণালীর মতোই. তবে এর বিভিন্ন বর্ণের পাড়ের মধ্যে কালো রেখা থাকতে দেখা যায়।

(ii) **কালো পাড় বর্ণালী** (dark band spectra) : যখন কোন জ্বলন্ত মৌলিক গ্যাস থেকে নিঃসৃত আলো কোন রঙিন এবং স্বচ্ছ কঠিন অথবা তরল পদার্থের মধ্য দিয়ে চলে আসে, তখন সেই আলো থেকে যে বর্ণালী পাওয়া যায়, সেই বর্ণালী আর অবিচ্ছিন্ন থাকে না। এই বর্ণালীর মধ্যে কালো পাড় দেখা যায়। এই রকম বর্ণালীকে কালো পাড় বর্ণালী বলে।

● **শুদ্ধ বর্ণালী** ( Pure Spectra ) :

যদি কোন ব্যবস্থা দ্বারা একটিমাত্র সাদা-আলোক-রশ্মি পাওয়া সম্ভব হ'ত, তাহলে সেটি প্রিজম্‌-এর মধ্য দিয়ে প্রতিসৃত হওয়ার পর সাতটি মূল বর্ণের রঙে বিভক্ত হয়ে যেত। প্রত্যেকটি মূল বর্ণের রঙের বিভিন্ন প্রতিসরাঙ্ক ব'লে, এদের দিক-বিচ্যুতি বিভিন্ন রকমের হবে এবং কোন কারণেই একটির সঙ্গে আর একটি মিলে যাবে না। যদি সুস্পষ্ট সাতটি রঙই প্রতিসরণের পর পর্দায় দেখা যায়, তাহলে ঐ বর্ণালীকে **শুদ্ধ বর্ণালী** ( pure spectrum ) বলা হবে।

**শুদ্ধ বর্ণালী পাবার শর্তাবলী :**

শুদ্ধ বর্ণালী পেতে হলে নীচে লেখা শর্তাবলী পূরণ করতে হবে :

1. আলোক-উৎস যথাসম্ভব ছোট হবে। 2. আপতিত আলোক-রশ্মিসমূহের আপতন কোণ কম হতে হবে। সবচেয়ে ভালো ব্যবস্থা হ'ল আলোক-রশ্মি সমান্তরাল হওয়া। 3. প্রিজ্‌ম-এর অবস্থিতি এমন যে, প্রতিসৃত মধ্যরশ্মির দিক-বিচ্যুতি নিম্নতম হবে। 4. কোনরকম ব্যবস্থা ক'রে ( যথা—উত্তল লেনস্‌-এর সাহায্যে ) প্রতিসৃত রশ্মিসমূহকে অভিসারী করতে হবে।

**শুদ্ধ বর্ণালী পাবার উপায় :**

একটি সূক্ষ্ম ছিদ্রের (S ভিতর দিয়ে আলোক-রশ্মিকে একটি উত্তল লেনস্‌-এর উপর আপতিত করানো হ'ল (fig. 109 )। ছিদ্রটি লেন্‌স-এর ফোকাসে অবস্থিত।

সেজন্য আলোক-রশ্মিসমূহ লেনস্-এর মধ্য দিয়ে প্রতিসৃত হওয়ার পর সমান্তরাল হবে। বর্ণালীর মাঝখানের রশ্মিটির দিক-বিচ্যুতি যাতে সর্বনিম্ন হয়, এমনভাবে লেনস্-এর পিছনে একটি প্রিজম্ রাখা হ'ল। ছিদ্রের দৈর্ঘ্য ও প্রিজম্-এর শীর্ষ সমান্তরাল ক'রে রাখতে হবে। এখন সমান্তরাল সাদা যৌগিক আলোক-রশ্মিসমূহ প্রিজম্-এর বিভিন্ন অংশে আপতিত হয়ে আলোকের বিচ্ছুরণ ঘটাবে। যেহেতু আপতিত রশ্মিসমূহ সমান্তরাল, সেহেতু এদের আপতন কোণ সমান। অতএব, প্রিজম্ থেকে বার হওয়ার পর বিভিন্ন বর্ণের রশ্মি বিচ্ছুরণের জন্য বিভিন্ন কোণে বাঁকলেও একই বর্ণের সকল রশ্মি সমান্তরাল থাকবে। অর্থাৎ, অনেকগুলি সমান্তরাল বেগুনী রশ্মি, সমান্তরাল হলুদ রশ্মি ইত্যাদি প্রিজম্ থেকে বার হয়ে আসবে। এখন প্রিজম্-এর পিছনে

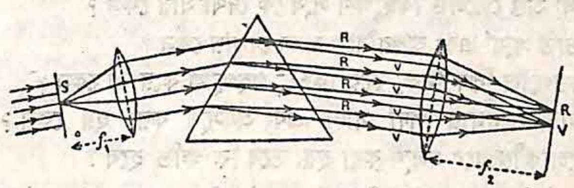



Fig. 109

উপযুক্ত অবস্থানে আর একটি উত্তল লেনস্ রাখলে, সমান্তরাল রশ্মিসমূহ এর মধ্য দিয়ে প্রতিসৃত হওয়ার পর ঐ লেনস্-এর ফোকাস তলে ( focal plane ) বিভিন্ন বিন্দুতে মিলিত হবে এবং শুদ্ধ বর্ণালীর উৎপত্তি হবে।

বর্ণালীটিকে পর্দার উপরে ধরা গেল ব'লে এই বর্ণালী সদ্।

83. একটি লাল বস্তুকে সাদা আলো এবং সবুজ আলোতে পর্যায়ক্রমে আলোকিত করা হলে, তুমি কি পর্যবেক্ষণ করবে? যুক্তি সহকারে ব্যাখ্যা কর।

[ If a red body be illuminated by white light and green light in turn what will you observe ? Explain your answer. ]

বস্তুসমূহের যে বিভিন্ন বর্ণ আমরা দেখি, তার কারণ—প্রতিফলন, প্রতিসরণ ও শোষণ ছাড়া আর কিছুই নয়। কোন অনচ্ছ বস্তুর উপর সাদা আলোক-রশ্মি আপতিত হলে, বস্তু তার **বিশিষ্ট শোষণ-ক্ষমতা** (selective absorption power) অনুযায়ী সাদা আলোকের এক বা একাধিক বর্ণ শোষণ ক'রে ফেলে। শোষণের পর যে-বর্ণ অবশিষ্ট থাকে, সেটি পদার্থের উপরিভাগ থেকে অনিয়মিতভাবে ( diffused) প্রতিফলিত হয় এবং দর্শকের চোখে সেই রঙের বোধ জন্মায়। পদার্থের বিভিন্ন ধর্ম আছে ; যেমন—অভেদ্যতা, সংকোচনশীলতা, স্থিতিস্থাপকতা, ঘনত্ব ইত্যাদি। কিন্তু বর্ণ—পদার্থের কোন ধর্ম নয়। যে বস্তু সাদা আলোকের সাতটি মূল বর্ণের একটিও শোষণ করে না, সকল রশ্মিই যা থেকে সমভাবে বিকীর্ণ হয়ে থাকে, সেটি সাদা ব'লে মনে হয়। আবার, যে বস্তু সব মূল বর্ণই শোষণ করে, তার বর্ণ কালো হয়। যে সব বস্তুর রঙ সাদা আলোকে একরকম দেখায়, অন্য রঙের আলোকে তাদের বর্ণ বদলিয়ে যায়।

লাল রঙের একটি স্বচ্ছ পদার্থকে সাদা আলোকে লাল দেখায় ; কারণ, লাল ছাড়া অন্য সমস্ত রঙ পদার্থটি শোষণ ক'রে নেয়। দুটি বিভিন্ন রঙের স্বচ্ছ পদার্থকে নিয়ে একটির উপর আর একটি ধরে সাদা আলোকে দেখলে, তাকে কালো দেখায় ; কারণ, প্রথম স্বচ্ছ পদার্থ—এর যা রঙ, সেটি ছাড়া এটি অন্য সব রঙ শোষণ ক'রে নেয়। ধরা যাক, প্রথম স্বচ্ছ পদার্থটি লাল রঙের। তাহলে এর থেকে লাল রঙ বার হয়ে দ্বিতীয় স্বচ্ছ পদার্থটির উপর পড়বে। এখন, দ্বিতীয় স্বচ্ছ পদার্থের রঙ সবুজ—এটি লাল রঙ শোষণ ক'রে নেবে এবং এজন্য ঐ স্বচ্ছ পদার্থের বর্ণ কালো ব'লে মনে হবে।

84. **ব্যাখ্যা কর ঃ**

(ক) সূর্য অস্ত গেলেও কিছুক্ষণ সূর্যকে দেখা যায় কেন ?
(খ) প্রভাত সূর্য এবং অস্তরবিকে লাল দেখায় কেন ?
(গ) নক্ষত্রগুলি ঝিক্‌মিক্‌ করে কিন্তু গ্রহগুলি করে না কেন ?
(ঘ) একটি সিনেমার পর্দা সাদা এবং অমসৃণ করা হয় কেন ? যদি পর্দাকে আলোকীয়ভাবে মসৃণ করা হয়, তবে কি ক্ষতি হবে ?

(a) Explain why the Sun be seen for sometimes it sets ?
(b) Why do the rising or setting sun appear red ?
(c) Explain why stars twinkle but the planets do not.
(d) Explain why the screen of a cinema is white and rough. What would be harm if the screen be optically smooth ?

(ক) সমুদ্র-সমতল হইতে যত উপরে ওঠা যায়, বায়ুমণ্ডলের বিভিন্ন স্তরের ঘনত্ব তত কমে যায়। সুতরাং, সূর্যের আলো যখন আমাদের চোখে এসে পেঁাছায় তখন বায়ুমণ্ডলের বিভিন্ন স্তরের মধ্য দিয়ে অতিক্রম করার ফলে আলোক-রশ্মির প্রতিসরণ হয় এবং বস্তুকে তার প্রকৃত অবস্থান থেকে কিছুটা উপরে দেখতে পাই। এই কারণে, সূর্য অস্ত গেলেও কিছুক্ষণ আমরা সূর্যকে দেখতে পাই।

(খ) **প্রভাত-সূর্য ও অস্তরবির রক্তরাগ ঃ** সূর্যোদয়ের ও সূর্যাস্তের সময় সূর্যের রঙ লাল দেখায় এবং একে গোলকাকার ব'লে মনে হয় না—ডিম্বাকৃতি ব'লে বোধ হয়। সকালে এবং বিকালে এই দুই সময়ের সূর্য দিগন্তের (horizon) কাছে থাকে এবং সূর্য-রশ্মিকে সুগভীর বায়ুস্তর ভেদ ক'রে পৃথিবী-পৃষ্ঠে পেঁাছোতে হয়। নীল প্রান্তের ( অর্থাৎ, হ্রস্বতর তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য-বিশিষ্ট ) বর্ণগুলির বিক্ষেপ হয়ে যায়, কিন্তু লাল প্রান্তের বর্ণগুলি, বিশেষ ক'রে লাল বর্ণ দীর্ঘতম তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য-বিশিষ্ট ব'লে সোজাসুজি পৃথিবীতে চলে আসে। সেজন্য আমরা প্রভাত-সূর্য বা অস্তরবিকে লাল দেখি। আগেই আলোচনা করা হয়েছে যে, বর্ণ বস্তুর নির্দিষ্ট কোন ধর্ম নয় ; অতএব, সূর্য বারে বারে রঙ পাল্টাচ্ছে এরকম হচ্ছে না। বায়ুমণ্ডল না থাকলে সূর্যোদয় ও সূর্যাস্তের লালিমা আমরা দেখতে পেতাম না ; সবসময়েই একে উজ্জ্বল ও সাদা দেখাতো।

(গ) পৃথিবীর বায়ুমণ্ডলের তাপমাত্রা কখনই সকল স্তরে সমান থাকে না। অর্থাৎ,

তাপমাত্রা সব সময়ে পরিবর্তন হয়ে থাকে। ফলে, বায়ুমণ্ডলের বিভিন্ন স্তরের বায়ুর প্রতিসরাঙ্ক প্রতিনিয়ত পরিবর্তিত হয়। বায়ুমণ্ডলের মধ্য দিয়ে আগত আলোক-রশ্মির পথও এই কারণে পরিবর্তিত হয়। গ্রহগুলি পৃথিবীর নিকটবর্তী ব'লে অধিকতর কৌণিক বিস্তার যুক্ত ও উজ্জ্বল কিন্তু নক্ষত্রগুলি বহুদূরবর্তী বলে অল্প কৌণিক বিস্তার যুক্ত ও অনুজ্জ্বল। আলোক-রশ্মির এই পথ-পরিবর্তনের দরুন নক্ষত্রের আলো আমাদের চোখে না পৌঁছে মাঝে মাঝে এদিক-ওদিক সরে যায়। তাই, নক্ষত্রগুলিকে লোকে ঝিক্‌মিক্ করতে দেখে। গ্রহগুলি হইতে আগত আলোক-রশ্মি-গুলির পথ-পরিবর্তন ঘটলেও আমাদের চোখে কিছু কিছু আলোকর রশ্মি সব সময়েই পৌঁছায়। গ্রহগুলি খুব উজ্জ্বল এবং এই উজ্জ্বলতার দরুন আলোক-রশ্মির পথ পরিবর্তন খালি চোখে ধরা পড়ে না। তাই, গ্রহগুলির আলো স্থির ব'লে মনে হয়। এই কারণে গ্রহগুলি ঝিক্‌মিক্ করে না।

যাতে বিক্ষিপ্ত প্রতিফলন হয়, সেজন্য সিনেমার পর্দাকে **অমসৃণ** করা হয়। আপতিত রশ্মিসমূহ সমান্তরাল হলেও প্রতিফলিত রশ্মিগুলি চারিদিকে ছড়িয়ে পড়ে। ফলে, যেদিক থেকেই দেখা যাক না কেন, সর্বত্রই সমান ঔজ্জ্বল্য দেখা যাবে।

সিনেমার পর্দাকে **সাদা** করা হয়, কারণ সাদা তলে যে পরিমাণ আলোক আপতিত হয়, প্রায় তার সবটাই প্রতিফলিত হয়ে যায়। অর্থাৎ, প্রায় কোন আলোকই সাদা তল দ্বারা শোষিত হয় না। এর ফলে প্রতিবিম্বের ঔজ্জ্বল্য বেড়ে যায়। এ ছাড়া, সাদা রঙের পর্দার উপর কালো বা রঙিন ছবি পরিষ্কার ফোটে ব'লেও, সিনেমার পর্দা সাদা করা হয়।

পর্দাটিকে মসৃণ করা হলে নিয়মিত প্রতিফলন ঘটবে।

85. মানব-চক্ষু এবং ক্যামেরার মধ্যে তুলনা কর। মানব-চক্ষুর উপযোজন বলিতে কি বুঝ? ক্ষীণ দৃষ্টির ত্রুটির ব্যাখ্যা কর এবং কিভাবে ইহার প্রতিকার করা যায়, তাহা বিবৃত কর।

[Compare human eye with photographic camera. What do you mean by accommodation of human eye? Explain the myopia type of defect of vision and how can it be remedied?]

● **মানব-চক্ষু এবং ক্যামেরার পার্থক্য ঃ**

| মানব-চক্ষু | ক্যামেরা |
|---|---|
| 1. কঠিন পদার্থ Sclerotica দ্বারা চক্ষুগোলক গঠিত। | 1. একটি আলো-নিরুদ্ধ বাক্স। |
| 2 চক্ষুতে একটি লেন্স থাকে, যা চক্ষু-বহির্ভূত বস্তুর সদ্, অবশীর্ষ ও খর্ব প্রতিবিম্ব গঠন করে। | 2. ক্যামেরাতে একটি উত্তল লেন্স থাকে, যা বস্তুর সদ্, অবশীর্ষ এবং খর্ব প্রতিবিম্ব গঠন করে। |
| 3. চক্ষু লেন্সের বক্রতা-ব্যাসার্ধ পরিবর্তন ক'রে প্রতিবিম্বকে ফোকাস করার ক্ষমতাকে চক্ষুর উপযোজন বলে। | 3. আলো-নিরুদ্ধ বাক্সের দৈর্ঘ্য নিয়ন্ত্রণ ক'রে ফোকাস করার ব্যবস্থা করা হয়। |

| মানব-চক্ষু | ক্যামেরা |
|---|---|
| 4. মানব-চক্ষুর অভ্যন্তরে কৃষ্ণ-মণ্ডল নামে একটি কালো পর্দা থাকে। | 4. ক্যামেরা-বাক্সের ভিতরে কালো রঙ করা থাকে। |
| 5. চক্ষুতে চোখের পাতা আলোক সম্পাতের সময় নির্ধারণ করে। | 5. ক্যামেরাতে সাটার আলোক-সম্পাতের সময় নির্ধারণ করে। |
| 6. চক্ষুর অক্ষিপটে প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। | 6. ক্যামেরাতে আলোক-সংবেদী প্লেটে প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। |
| 7. চক্ষুর কৌণিক দৃষ্টির ক্ষেত্র প্রায় 160°। | 7. ক্যামেরার কৌণিক দৃষ্টির ক্ষেত্র প্রায় 60°। |
| 8. কণীনিকা ( Iris ) স্বয়ংক্রিয় পদ্ধতি দ্বারা চক্ষুমধ্যে আলোকের প্রবেশ নিয়ন্ত্রণ করে। | 8. ক্যামেরার সামনের ছিদ্রের ব্যাস পরিবর্তন ক'রে বা স্টপ ব্যবহার ক'রে উহার মধ্যে আলোকের প্রবেশ নিয়ন্ত্রিত করা যায়। |

● **চক্ষুর উপযোজন ( Accomodation of Eye ) ঃ**

চোখের কর্নিয়া, অ্যাকুয়াস হিউমার, লেনস্ ও ভিট্রিয়াস হিউমার একত্রে একটি অভিসারী লেনস্-এর কাজ করে। বাইরের কোন বস্তুর দিকে তাকালে সেই বস্তু থেকে নির্গত আলোক-রশ্মি লেনস্-এর উপরে পড়ে। সেই আলো লেনস্-এর মধ্য দিয়ে প্রতিসৃত হয়ে রেটিনার উপর সদ্, অবশীর্ষ, খর্বিত প্রতিবিম্ব গঠন করে। স্বাভাবিক অবস্থায় লেনস্-এর ফোকাস-দূরত্ব এমন যে দূরবর্তী বস্তুর প্রতিবিম্ব ঠিক রেটিনার উপর পড়ে। রেটিনায় প্রতিবিম্ব গঠিত হলে সেই অনুভূতি অপটিক নার্ভের মধ্য দিয়ে মস্তিষ্কে গিয়ে প্রবেশ করে ও দৃষ্টির অনুভূতি জাগায়। আইরিস আলো নিয়ন্ত্রণ করে ও কোরয়েড চোখের ভিতর আলোর অভ্যন্তরীণ প্রতিফলন রোধ করে। কতকগুলি পেশীর সমন্বয়ে গঠিত সিলিয়ারী বস্তুর (ciliary body) সঙ্কোচন ও প্রসারণ লেন্সের স্থূলত্বকে ঠিক ক'রে দেয়, যাতে প্রতিবিম্বটি সর্বদা রেটিনার উপর পড়ে। এই প্রক্রিয়াকে বিম্ব স্থাপন বা সংযোজন (accomodation) বলে। যে নির্দিষ্ট নিকটতম দূরত্বের কম দূরত্বে কোন বস্তু রাখলে সেই বস্তুকে আর ভালোভাবে দেখা যায় না, অর্থাৎ যে নিকটতম দূরত্বের কম দূরত্বে চক্ষু তার সংযোজন ক্ষমতা হারিয়ে ফেলে, সেই দূরত্বকে বলা হয় সুষ্ঠু দর্শনের নিকটতম দূরত্ব (least distance of distinct vision )। সবচেয়ে বেশী যে দূরত্বে কোন বস্তু রাখলে তা স্পষ্টভাবে দেখা যায়, তাকে চক্ষুর সুষ্ঠু দর্শনের দূরতম দূরত্ব ( farthest distance of distinct vision ) বলে। এই দূরত্ব-দুটিকে যথাক্রমে নিকট বিন্দু (near point) ও দূর বিন্দু (far point) বলা হয়।

● **ক্ষীণ দৃষ্টি ( Short Sight or Myopia ) ঃ**

এই ত্রুটি সাধারণতঃ অল্প বয়স্ক ব্যক্তিদের মধ্যে দেখা যায়। যখন চক্ষু একটি নির্দিষ্ট দূরত্বের বাইরে কোন বস্তু স্পষ্টভাবে দেখতে পায় না, তখন সেই চক্ষুকে

**মাইওপিয়া দোষযুক্ত** বলা হয়। চক্ষু লেনস্‌-এর ফোকাস-দূরত্ব কমে গেলে বা অক্ষিগোলকের দৈর্ঘ্য বৃদ্ধি পেলে এই দোষ-দেখা দেয়। এই ত্রুটিতে বস্তু থেকে নির্গত সমান্তরাল আলো চক্ষু লেনস্‌-এ প্রতিসরণের পর রেটিনার সামনে একটি বিন্দুতে মিলিত হয়। তাই, চক্ষু দূরের জিনিস স্পষ্ট দেখতে পায় না।

**প্রতিকার** (*Remedy*) :

চোখের ক্ষীণ দৃষ্টি হয় চক্ষু লেনস্‌-এর প্রয়োজনের বেশী অভিসারী ক্ষমতার জন্য ( fig. 110 )। এই দোষের প্রতিকার করতে হলে এই অভিসারী ক্ষমতা কমানো

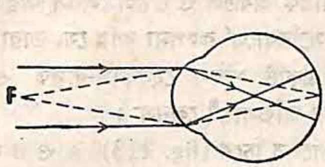



Fig. 110

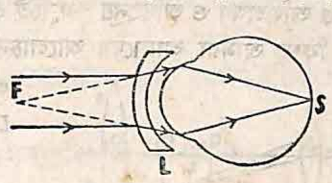



Fig. 111

দরকার। এর জন্য এমন একটি অপসারী লেনস্‌ চোখের সামনে রাখা হয় ( fig. 111 ). যার প্রধান ফোকাস চোখের দূরবিন্দু F-এ থাকে। তখন বস্তু থেকে নির্গত সমান্তরাল আলোক প্রতিসৃত হয়ে F বিন্দু থেকে আসে ব'লে রেটিনার উপর স্পষ্ট প্রতিবিম্ব পড়ে।

86. চিত্র-সহযোগে একটি অণুবীক্ষণ যন্ত্রের কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর।
[Explain the action of a compound microscope with diagram.]

● **অণুবীক্ষণ যন্ত্র ( Compound Microscope )** :

এই যন্ত্রের সাহায্যে একটি ক্ষুদ্র বস্তুর খুঁটিনাটি বেশ বড় ক'রে দেখা যায়। এর প্রধান দুটি অংশ হ'ল—অভিলক্ষ্য (objective) ও অভিনেত্র (eye-piece) ( fig. 112 )। অভিলক্ষ্য (O) হ'ল একটি ফাঁপা ধাতব নলের একপ্রান্তে লাগানো স্বল্প ফোকাস-দূরত্বের একটি অভিসারী (convex) লেনস্‌। এই লেনস্‌টি দর্শনীয় বস্তুর দিকে থাকে। অভিনেত্র (E) হ'ল একই ধাতব নলের অন্য প্রান্তে লাগানো অপেক্ষাকৃত বড় ফোকাস-দূরত্বের আর একটি অভিসারী লেনস্‌। দুটি লেনস্‌ই সমাক্ষভাবে ( coaxially ) লাগানো থাকে। মাইক্রোস্কোপের মূল নলের ভিতর একটি টানা নলের (drawn tube) মধ্যে অভিনেত্রটি বসানো থাকে। টানা নলটিকে বাইরে টেনে অথবা ভিতরে ঠেলে অভিনেত্র ও

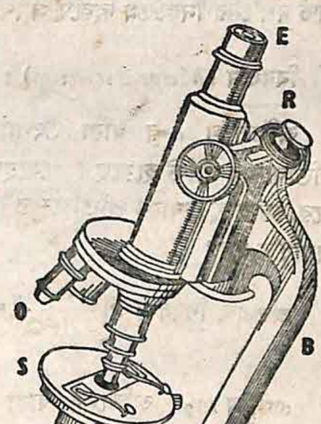



Fig. 112

অভিলক্ষ্যের মধ্যে পারস্পরিক দূরত্ব পরিবর্তন করা যায়। স্ক্রু R-এর সাহায্যে

**অয়শ্চৌম্বক পদার্থ** (Ferromagnetic Substance) ঃ

লোহা, কোবাল্ট, নিকেল, ইস্পাত প্রভৃতি কয়েকটি পদার্থ চুম্বক দ্বারা প্রবলভাবে আকৃষ্ট হয়। আবেশী চৌম্বক ক্ষেত্র হইতে অপসারণ করা হইলে ইহারা কিছুটা আবিষ্ট চুম্বকত্ব ধরিয়া রাখতে পারে। ইহাদের **অয়শ্চৌম্বক পদার্থ** বলা হয়। কেবলমাত্র কেলাসিত কঠিন পদার্থে অয়শ্চৌম্বকত্ব থাকতে পারে।

ইহাদের চৌম্বক-ভেদ্যতা ($\mu$)-এর মান একের বেশী এবং চৌম্বকগ্রাহিতা ($K$)-এর মান একের বেশী, কিন্তু ধনাত্মক হয়। তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে সাথে চৌম্বকগ্রাহিতা ($K$) জটিলভাবে পরিবর্তিত হয়। ইহাদের ক্যুরী বিন্দু আছে এবং শৈথিল্য হ'ল অয়-শ্চৌম্বক পদার্থের একটি তুলনামূলক ধর্ম।

অয়শ্চৌম্বক পদার্থকে উত্তপ্ত করলে চৌম্বকগ্রাহিতা ($K$)-এবং চৌম্বক-ভেদ্যতা ($\mu$) দ্রুত হ্রাস পায় এবং ইহারা কোন সহজ সূত্র মেনে চলে না। নিম্ন তাপমাত্রায় ইহারা ক্যুরী সূত্র বা ক্যুরী-ভাইস সূত্র মেনে চলে না।

যে সংকট তাপমাত্রায় একটি অয়শ্চৌম্বক পদার্থ পরাচৌম্বক পদার্থে পরিণত হয়, তাহাকে ঐ পদার্থের **ক্যুরী-বিন্দু** বলে।

লোহার ক্যুরী বিন্দু ঃ 770°C
নিকেলের ক্যুরী বিন্দু ঃ 350°C
কোবাল্টের ক্যুরী বিন্দু ঃ 1130°C

ক্যুরী তাপমাত্রায় একটি অয়শ্চৌম্বক পদার্থ উহার অয়শ্চৌম্বকত্ব সম্পূর্ণরূপে হারাইয়া ফেলে এবং পরাচৌম্বক পদার্থে পরিণত হয়।

ক্যুরী তাপমাত্রার ঊর্ধ্বে অয়শ্চৌম্বক পদার্থের চৌম্বকগ্রাহিতা ক্যুরী-ভাইসের সূত্র মেনে চলে।

97. আংশিকভাবে ভূমিতে প্রোথিত একটি উল্লম্ব স্তম্ভকে বহু বৎসর পর চুম্বকত্ব লাভ করতে দেখা গেল। উত্তর গোলার্ধে স্তম্ভটির শীর্ষে কিরূপ মেরুতার উদ্ভব হবে—যুক্তি সহকারে ব্যাখ্যা কর।

[ A vertical pillar introduced partly into the earth is found to be magnetised after several years. What would be the nature of the polarity at the top of the pillar at the southern hemisphere of the earth ? Explain your answer. ]

আমরা জানি যে, কোন চুম্বকের সামনে একটি চৌম্বক পদার্থ রাখলে উহার নিকটবর্তী প্রান্তে বিপরীতধর্মী মেরু এবং দূরবর্তী প্রান্তে সমধর্মী মেরুর সৃষ্টি হয়। আবার আমরা জানি যে, পৃথিবীর উত্তর মেরুটি প্রকৃতপক্ষে চুম্বকের দক্ষিণ মেরুর সহধর্মী। সুতরাং, উত্তর গোলার্ধে কোন চৌম্বক পদার্থের তৈরী একটি উল্লম্ব স্তম্ভকে আংশিকভাবে ভূমিতে প্রোথিত করা হলে পৃথিবীর চুম্বকত্বের দরুন উহার নিম্নপ্রান্তে উত্তর মেরু এবং উপরের প্রান্তে দক্ষিণ মেরুর সৃষ্টি হবে। অতএব, উত্তর গোলার্ধে স্তম্ভটিকে বহুদিন ধরে আংশিকভাবে ভূমিতে প্রোথিত করা হলে উক্ত স্তম্ভটির শীর্ষে দক্ষিণ মেরুর সৃষ্টি হবে।

# স্থির তড়িৎ-বিজ্ঞান

## [ Statical Electricity ]

98. বিকর্ষণ তড়িতাধানের শ্রেষ্ঠ প্রমাণ—এই উক্তির যথার্থতা প্রতিপন্ন কর।

[ Explain the statement—Repulsion is a surer test of electrification. ]

● **বিকর্ষণ—তড়িতাধানের শ্রেষ্ঠ প্রমাণ :**

কোন তড়িতাহিত বস্তুর অপর কোন বস্তুর সঙ্গে আকর্ষণ অথবা বিকর্ষণ—বস্তুটির তড়িতাধানের প্রমাণ দেয়। তবুও একটু লক্ষ্য করলে দেখতে পাওয়া যাবে, আকর্ষণের চেয়ে বিকর্ষণই তড়িতাধানের শ্রেষ্ঠ প্রমাণ।

পূর্বেই আলোচনা করা হয়েছে, একই জাতীয় তড়িতের মধ্যে বিকর্ষণ এবং বিপরীত জাতীয় তড়িতের মধ্যে আকর্ষণ ঘটে। আবার, একটি তড়িতাহিত বস্তু অপর একটি তড়িৎবিহীন বস্তুকে আকর্ষণ করার ক্ষমতা রাখে। সেজন্য বস্তুটি তড়িতাহিত কিনা, তা আকর্ষণের চেয়ে বিকর্ষণ দ্বারা নিশ্চিতভাবে বুঝতে পারা যায়।

দেখা গেছে, একটি তড়িতাহিত এবোনাইটের দণ্ড অথবা কাচদণ্ড কতকগুলি তড়িৎবিহীন কাগজ বা অন্য কোন পদার্থকে আকর্ষণ করে। আবার একটি তড়িতাহিত পদার্থ, অন্য কোন বিপরীতধর্মী তড়িতাহিত বস্তুকে আকর্ষণ করতে পারে। সুতরাং, কোন বস্তু তড়িতাহিত কিনা, তা আকর্ষণ দ্বারা নিশ্চিতরূপে জানতে পারা যায় না। কারণ, সেক্ষেত্রে দুটি সম্ভাবনা থাকে।

কিন্তু বিকর্ষণ কেবল একই জাতীয় তড়িতের মধ্যে ঘটে থাকে ব'লে, কোন বস্তুকে অপর কোন তড়িতাহিত বস্তুর কাছে আনলে যদি উভয়ের মধ্যে বিকর্ষণ ঘটে, তাহলে আমরা নিশ্চিতরূপে বলতে পারি, বস্তুটি তড়িতাহিত এবং উভয় বস্তুতে একই জাতীয় তড়িৎ আছে।

99. প্রমাণ কর যে, ঘর্ষণ দ্বারা তড়িতাধানের সময় সম-পরিমাণ ধনাত্মক এবং ঋণাত্মক আধান সৃষ্টি হয়। ইলেকট্রনীয় মতবাদের আলোকে ইহা ব্যাখ্যা কর।

[ Prove that equal amount of $+ve$ and $-ve$ charges are produced during electrification by friction. Explain the same on the light of electronic theory ]

● **ইলেকট্রনীয় মতবাদ দ্বারা ঘর্ষণ-জাত তড়িতের ব্যাখ্যা :**

**ঘর্ষণ-জাত** ( by friction ) : কোন পরমাণুর নিউক্লিয়াসে ধনাত্মক তড়িৎযুক্ত প্রোটন এবং বাইরের অংশে ঋণাত্মক তড়িৎযুক্ত ইলেকট্রন থাকে। বিপরীত-ধর্মী তড়িৎ থাকায়, এদের মধ্যে একটি আকর্ষণ-বল থাকে এবং এর ফলে ইলেকট্রনগুলি একটি নির্দিষ্ট পথে ঘুরে থাকে, যেমন—সূর্যের চারপাশে পৃথিবী ঘোরে। কিন্তু বিভিন্ন পদার্থে এই আকর্ষণ-বলের মান বিভিন্ন হয়। সেজন্য অনেক পদার্থ থেকে বাহ্যিক বলের প্রয়োগে সহজ পদ্ধতিতে কিছু ইলেকট্রন সরিয়ে নেওয়া সম্ভব হতে পারে।

যন্ত্রটিকে ওঠা-নামা করানো হয়। লক্ষ্যবস্তুটিকে রাখা হয় একটি পাটাতন ( )-র উপর এবং একটি অবতল আয়না (concave mirror) M-এর সাহায্যে পাটাতনের নীচে আলো ফেলে বস্তুটিকে আলোকিত করা হয়। এর পর মাইক্রোস্কোপটিকে স্ক্রু R-র সাহায্যে উপরে ওঠালে বা নীচে নামালে বস্তুটির একটি সুস্পষ্ট ও বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব দেখা যায়।

**কার্যপ্রণালী** ( *Principle of Action* ) :

যদিও অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্র—দুটিই একাধিক অবতল ও উত্তল লেনস্-এর সমন্বয়ে গঠিত, কিন্তু আমরা আমাদের আলোচনার সুবিধার্থে কল্পনা করি যে, তারা উভয়েই এই একটি স্বল্প ফোকাস-দূরত্ব ও স্বল্প বেধের অভিসারী লেনস্।

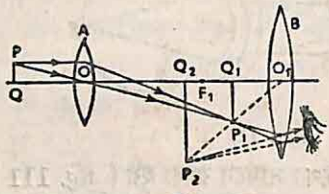



Fig. 113

পাশের চিত্রে (fig. 113) A ও B যথাক্রমে অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্র। $OO_1$ প্রধান অক্ষের উপর PQ বস্তুটি আছে। অভিলক্ষ্যের জন্য $P_1Q_1$ প্রতিবিম্ব সৃষ্টি হয়েছে অভিনেত্রের ফোকাস-দূরত্বের মধ্যে। এর ফলে $P_1Q_1$-এর পাশে এর একটি বিবর্ধিত প্রতিবিম্ব $P_2Q_2$ সৃষ্ট হয়েছে। অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্রের মধ্যে এমন দূরত্ব রাখা হয়, যাতে $P_2Q_2$ প্রতিবিম্বটি অভিনেত্রের পিছনে থাকা চোখের স্পষ্ট দর্শনের নিকটতম দূরত্বে সৃষ্টি হয়।

**বিবর্ধন** (*Magnification*) :

অভিলক্ষ্য A-র দ্বারা উৎপন্ন $P_1Q_1$ ও অভিনেত্র B-র দ্বারা উৎপন্ন $P_2Q_2$ দুটি প্রতিবিম্বের সৃষ্টি হয়েছে। যেহেতু $P_1Q_1$ প্রতিবিম্ব B-র সামনে বস্তুর মতো কাজ করে, সেহেতু এখানে প্রতিবিম্বের একবার অভিলক্ষ্য ও আর একবার অভিনেত্রের দ্বারা বিবর্ধিত হয়।

অতএব, বিবর্ধন $m = \frac{P_2Q_2}{PQ} = \frac{P_2Q_2}{P_1Q_1} \times \frac{P_1Q_1}{PQ} = m_2 \times m_1$

এখানে $m_2$ = অভিনেত্র দ্বারা বিবর্ধন $= \frac{P_2Q_2}{P_1Q_1}$

এবং $m_1$ = অভিলক্ষ্য দ্বারা বিবর্ধন $= \frac{P_1Q_1}{PQ}$.

অভিলক্ষ্য থেকে বস্তু PQ ও এর সদ্‌বিম্ব $P_1Q_1$-এর দূরত্ব যদি যথাক্রমে $u$ ও $v$ হয় তাহলে,

অভিলক্ষ্য দ্বারা বিবর্ধন $= m_1 = \frac{v}{u}$

∴ অভিনেত্রটি $P_1Q_1$-কে বিবর্ধিত ক'রে স্পষ্ট দর্শনের নিকটতম দূরত্বে প্রতিবিম্ব $P_2Q_2$ সৃষ্টি করে।

∴ অতএব, অভিনেত্র দ্বারা বিবর্ধন $m_2 = \frac{P_2Q_2}{P_1Q_1} = 1 + \frac{D}{f_2}$

এখানে, D = স্পষ্ট দর্শনের নিকটতম দূরত্ব এবং $f_2$ = অভিনেত্রের ফোকাস-দূরত্ব।

সুতরাং মোট বিবর্ধন $m = m_1 \times m_2 = \frac{v}{u}\left(1 + \frac{D}{f_2}\right)$.

∴ সুতরাং, $u$ বা $f_2$-এর মান কম ক'রে ও $v$-এর মান বাড়িয়ে বিবর্ধন বেশী করা যায়।

87. নভোবীক্ষণ যন্ত্রের কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর। গ্যালিলীয় দূরবীনের সহিত ইহার পার্থক্য কি?

[Exaplain the action of an astronomical telescope. How does it differ from Gallelian telescope.

● **নভোবীক্ষণ ( Astronomical Telescope ) ঃ**

নভোমণ্ডলীর চন্দ্র, সূর্য, গ্রহ, নক্ষত্র প্রভৃতি এই যন্ত্রের সাহায্যে দেখা যায়। নভোবীক্ষণ প্রধানতঃ দুটি লেনস্ দিয়ে তৈরী (fig. 114)। এতে ক্রাউন কাচের (crown glass) বেশী শক্তির অভিসারী ও ফ্লিণ্ট কাচের ( flint glass ) কম শক্তির অপসারী লেনস্-এর সমন্বয়ে তৈরী দীর্ঘ ফোকাসের ও বিস্তৃত উন্মেষের অবর্ণ এক অভিলক্ষ্য (O) (objective) এবং দুটি অভিসারী লেনস্-এর সমন্বয়ে তৈরী অভিনেত্র (E) (eye-piece) থাকে। দুটি লেনস্ই সমাক্ষভাবে লাগানো থাকে। অভিলক্ষ্যটি লক্ষ্যবস্তুর দিকে থাকে এবং এর দ্বিতীয় ফোকাস তলে লক্ষ্যবস্তুর ক্ষুদ্র, অবশীর্ষ, সদ্ প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। দরকার মতো স্ক্রু সাহায্যে অভিনেত্রটি আগানো বা পিছানো যায়। অভিলক্ষ্যের দ্বিতীয় ফোকাস তলে মাপার সুবিধার জন্য একটি আড়াআড়ি তার ( cross-wire ) লাগানো থাকে। এই নভোবীক্ষণের বিবর্ধন বেশী অথচ দৃষ্টিক্ষেত্র অল্প ব'লে এর গায় ভিউ ফাইণ্ডার (view finder) নামে একটি ছোট যন্ত্র লাগানো থাকে। এই যন্ত্রটি অল্প বিবর্ধনের কিন্তু অপেক্ষাকৃত প্রশস্ত দৃষ্টিক্ষেত্রের একটি দূরবীক্ষণ।



Fig. 114

**কার্য প্রণালী** ( *Principle of Action* ) ঃ

মনে করি, A ও B—যথাক্রমে অভিলক্ষ্য ও অভিনেত্র। $OO_1$ এদের প্রধান অক্ষ।

চুম্বকের আসল অবস্থার সম্পূর্ণ বিপরীত; কারণ, চুম্বকের কেন্দ্রের যে পাশে উত্তর মেরু, সে পাশে দক্ষিণ মেরু এবং যে পাশে দক্ষিণ মেরু, সে পাশে উত্তর মেরুর সৃষ্টি হয়েছে। কাজেই, চুম্বকের দেহে ওয়েবার-উপাদান-সমূহের সজ্জার অভিমুখ যে-রকম, তার মেরুদ্বয় ঠিক বিপরীত সজ্জা সৃষ্টি করতে চেষ্টা করে। এর ফলে চুম্বকটির শক্তি কমে যায়।

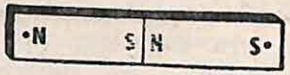


Fig. 116

যদি মুক্ত মেরু না থাকে, তাহলে বিচুম্বকন হবে না, কারণ, মেরুর ক্রিয়ার ফলে চুম্বক পদার্থে যে আবেশ হয়, তার জন্যই বিচুম্বকন হয়ে থাকে।

কোন চুম্বকের চুম্বকত্ব বজায় রাখার জন্য যে ব্যবস্থা গ্রহণ করা হয়, তাকে চুম্বক-রক্ষক ( magnetic-keeper ) বলে। চুম্বক-রক্ষক হ'ল একটি নরম লোহার পাত বা খণ্ড।

দণ্ড-চুম্বকের ক্ষেত্রে দুটি দণ্ড-চুম্বককে এমনভাবে পাশাপাশি রাখা হয়, যাতে তাদের বিপরীত মেরু মুখোমুখি থাকে। এরপর নরম লোহার ছোট পাত দ্বারা যুক্ত করা হয়ে থাকে ( fig 117 )। এর ফলে, দণ্ড চুম্বকের N-মেরু চুম্বক-রক্ষকের কাছের প্রান্তে S-মেরু আবিষ্ট করে এবং তাদের পারস্পরিক আকর্ষণ উক্ত দণ্ড-চুম্বকের N-মেরুকে রক্ষা করে।

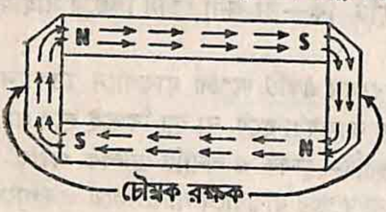


Fig. 117

এইভাবে চুম্বক আবেশের ফলে সমস্ত মেরুগুলি একটি বন্ধ-মুখ-শৃঙ্খলের মতো ব্যবহার করে এবং চুম্বকের চুম্বকশক্তি বজায় রাখতে পারে।

অশ্বাক্ষুরাকৃতি চুম্বকের ক্ষেত্রে ( fig. 118 ) চুম্বকের মেরু-দুটি পাশাপাশি থাকে বলে একটি চুম্বক-রক্ষক ব্যবহার করলে আত্মবিচুম্বকন বন্ধ করা যায়।



Fig 118

**90.** প্রথমে আবেশ এবং পরে আকর্ষণ—এই উক্তির যথার্থতা ব্যাখ্যা কর।

আবেশ কোন্ কোন্ রাশির উপর নির্ভরশীল? আবেশ দ্বারা স্থায়ী চুম্বক সৃষ্টি করা যায় কি?

[Explain the statement—induction preceeds attraction.
Mention the factors on which induction depends. Can you produce permanent magnet by induction ? ]

● **প্রথম আবেশ ও পরে আকর্ষণ ( Induction Preceeds Attraction) :**

কোন চুম্বকের কাছে একটি চৌম্বক পদার্থ রাখলে, চৌম্বক আবেশের জন্য ঐ পদার্থ সাময়িকভাবে চুম্বকে পরিণত হয় এবং চুম্বকের নিকট-প্রান্তে পদার্থের যে-অংশ

আছে, সেখানে চুম্বকের বিপরীত মেরুর উৎপত্তি হয়। এখন বিষম মেরুর ধর্ম—আকর্ষণ করা। অতএব, চৌম্বক পদার্থ ও চুম্বকের মধ্যে আকর্ষণ হবে। তাহলে, কোন চুম্বক দ্বারা যখন কোন চৌম্বক পদার্থ আকৃষ্ট হয়, তখন আর সেটি চৌম্বক পদার্থ নয়—সেটি এখন চুম্বক। অতএব, প্রথমে আবেশ ও পরে আকর্ষণ হয়।

● **চৌম্বক আবেশ (Magnetic Induction) :**

**সংজ্ঞা :** চুম্বকের সংস্পর্শে বা কাছে কোন চৌম্বক পদার্থ আনলে, ঐ পদার্থের মধ্যে সাময়িকভাবে চৌম্বক ধর্মের সৃষ্টি হয়। এইভাবে সৃষ্ট চৌম্বকত্বকে চৌম্বক আবেশ বলা হয়ে থাকে।

চৌম্বক আবেশের ফলে কোন চৌম্বক পদার্থে মেরুর প্রকৃতি এমন হয়, যাতে যে-মেরু চুম্বকের কাছে থাকে, এতে নিকটে অবস্থিত মেরুর বিপরীত মেরু তৈরী হয় এবং দূরের প্রান্তে সমমেরু তৈরী হয়।

চৌম্বক আবেশ সাধারণতঃ নীচের কারণগুলি উপর নির্ভর করে :

1. যে চৌম্বক পদার্থে চুম্বক ধর্ম আবিষ্ট হবে, তার প্রকৃতি। বিভিন্ন চৌম্বক পদার্থে বিভিন্ন পরিমাণ চুম্বকত্ব আবিষ্ট হয়ে থাকে। 2. যে চুম্বক আবেশ-সৃষ্টির কারণ—তার মেরু-শক্তির উপর। মেরু-শক্তি যত বেশী হবে, আবিষ্ট চুম্বকত্ব তত বেশী হবে। 3. চৌম্বক পদার্থ ও চুম্বকের মধবর্তী দূরত্বের উপর। এই দূরত্ব যত কম হবে, আবিষ্ট চুম্বক ধর্ম তত বেশী হবে। 4. যে মাধ্যমের মধ্যে পরীক্ষাধীন চুম্বক ও চৌম্বক পদার্থ রাখা হয়েছে, তার প্রকৃতির উপর। মাধ্যমের যে-ধর্মের উপর এটি নির্ভর করে, তাকে **প্রবেশ্যতা** (permeability) বলা হয়।

চৌম্বক আবেশ দ্বারা সাময়িক ভাবে চুম্বক সৃষ্টি করা যায়। আবেশ দ্বারা স্থায়ী চুম্বক সৃষ্টি করা যায় না।

91. বিকর্ষণই মেরুতার একটি শ্রেষ্ঠ প্রমাণ—এই উক্তির যথার্থতা ব্যাখ্যা কর। একটি চুম্বকের উভয় প্রান্ত একটি চুম্বকের S-মেরু দ্বারা বিকর্ষিত হয়। ইহা কিরূপে সম্ভব? চুম্বকের মধ্য অঞ্চল কি উদাসীন হবে? যদি না হয়, তবে মধ্য অঞ্চলে কোন মেরুর সৃষ্টি হবে?

[Repulsion is a surer test of polarity—Explain the statement. Both ends of a magnet are repelled by S-pole of a magnet. How is it possible? Will the central zone of the magnet be neutral? If not, what type of polarity will be developed at the central zone.]

● **বিকর্ষণই মেরুতার শ্রেষ্ঠ প্রমাণ** (Repulsion is the surer test of polarity)

কোন দণ্ড চুম্বক কিনা, সেটি বোঝার শ্রেষ্ঠ পরীক্ষা হচ্ছে, অপর কোন চুম্বকের সঙ্গে এর বিকর্ষণ। কোন চুম্বকের যে-কোন মেরুর কাছে একটি চৌম্বক পদার্থের (ধরা যাক, লোহার) দণ্ড আনলে আকর্ষণ হবে (fig. 119)। আবার কোন চুম্বকের

একটি মেরুর কাছে অপর কোন চুম্বকের বিপরীত মেরু আনলে, দ্যু ফে-র সূত্র অনুযায়ী আমরা জানি যে, সদৃশ মেরুতে (like poles) বিকর্ষণ ও অসদৃশ মেরুতে (unlike poles) আকর্ষণ হয়ে থাকে। সুতরাং, এখানে আকর্ষণ হবে (fig 123)। অর্থাৎ, কোন চুম্বকের সঙ্গে অপর কোন দণ্ডের আকর্ষণ হলে, দণ্ডটি চৌম্বক পদার্থও হতে পারে অথবা চুম্বকও হতে পারে।

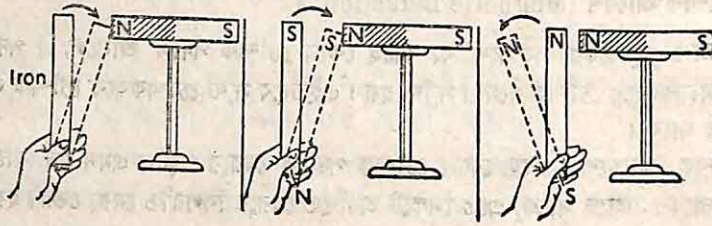



Fig. 119

কোন চুম্বকের একটি মেরুর কাছে (ধরা যাক, উত্তর মেরু) অপর কোন চুম্বকের সমমেরু আনলে দেখা যাবে, বিকর্ষণ হচ্ছে (fig. 119)। বিকর্ষণ সমমেরুর মধ্যে হয়ে থাকে। এখন কোন দণ্ডের একপ্রান্ত কোন চুম্বকের একটি মেরুর কাছে আনলে যদি আকর্ষণ হয়, তাহলে দণ্ডের ঐ প্রান্তে বিপরীত মেরু আছে ; অর্থাৎ, দণ্ডটি একটি চুম্বক। আকর্ষণের ক্ষেত্রে আমরা দুটি সিদ্ধান্ত করতে পারি, কিন্তু বিকর্ষণের ক্ষেত্রে একটিই সিদ্ধান্ত করা সম্ভব। সেজন্য বলা হয়, বিকর্ষণই মেরুতার শ্রেষ্ঠ প্রমাণ।

দুটি সমশক্তি সম্পন্ন সমমেরু কাছাকাছি রাখলে উহাদের বলরেখার বিন্যাস নীচে দেওয়া হ'ল। চিত্রানুসারে দেখা যায় যে, চুম্বক মেরুদ্বয়ের মধ্য বিন্দুতে কোন বল-রেখা নেই। ঐ বিন্দুতে চৌম্বকক্ষেত্র-এর লব্ধি প্রাবল্যের মান শূন্য হবে এবং মধ্য বিন্দুতে কোন চৌম্বক মেরু রাখা হলে উহা কোন বল অনুভব করে না।

এই মধ্য বিন্দুকে উদাসীন বিন্দু বলা হয়। উদাসীন বিন্দুর নিকটে উত্তর মেরু থেকে নির্গত বলরেখাগুলি খুব কাছাকাছি আসে, বলরেখাগুলির দৈর্ঘ্যের

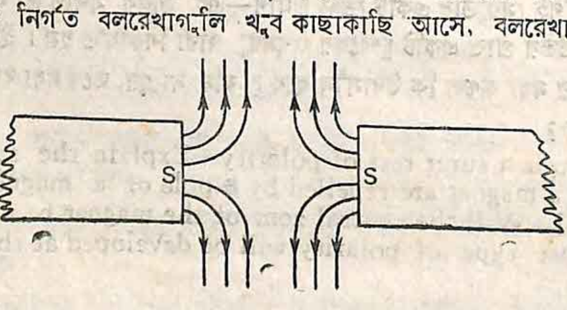



Fig. 120

অভিলম্ব বরাবর পরস্পরের উপর একটি বল প্রয়োগ ক'রে থাকে এবং এই বলের প্রভাবে বলরেখাগুলি ( fig. 120 ) বেঁকে যায়। মেরুদ্বয়ে পেঁাছাইলে এই বল উহাদের মধ্যে বিকর্ষণ সৃষ্টি করে। সুতরাং সমমেরু-দুটি পরস্পর থেকে দূরে সরে যায়।

এখানে মধ্য অঞ্চল উদাসীন হবে।

92. উপমেরু বলতে কি বুঝ? ইহা কিভাবে সৃষ্ট হয়।

[ What do you mean by consequent pole ? How is it produced ? ] ।

● **উপমেরু ( Consequent Poles ) ঃ**

চুম্বকন প্রণালীতে ভুল হলে অনেক সময় দেখা যায় যে, দুইপ্রান্তে সমমেরু ও মাঝখানে বিপরীত মেরুর সৃষ্টি হয়েছে ( fig. 121 )। ফলে, এর দুই প্রান্তে এবং মাঝখানেও আকর্ষণ হয়। মধ্যের এই বাড়তি মেরুকে উপমেরু বলা হয়। অবশ্য এদের স্থায়িত্ব খুব অল্প সময়ের জন্য হয়ে থাকে।

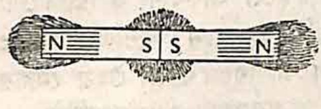


Fig. 121

পৃথক স্পর্শ প্রণালী বা যুগ্ম স্পর্শ প্রণালী দ্বারা কোন দণ্ডকে চুম্বকে পরিণত করার সময় দুটি চুম্বকের দরকার হয়। এদের দুটি বিপরীত মেরু দণ্ডের মাঝখানে রাখা হয়। যদি ভুল ক'রে চুম্বক-দুটির সমমেরু দণ্ডের মাঝখানে রেখে ঘর্ষণ করা হয়, তাহলে দণ্ডের দু'প্রান্তে সমমেরু এবং মাঝখানে বিপরীত মেরু দেখা যাবে (fig. 122)। এইভাবে উপমেরুর সৃষ্টি হয়।

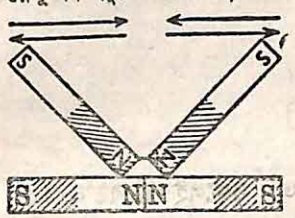


Fig. 122

যদি কোন চুম্বকের উভয় প্রান্তই কোন শলাকার উত্তর মেরুকে বিকর্ষণ করে, তবে বুঝতে হবে যে, দণ্ডের দুপ্রান্তে একই ধরনের মেরুর উৎপত্তি হয়েছে এবং মধ্যে বিপরীত মেরু আছে। অর্থাৎ, দণ্ডটিতে উপমেরুর সৃষ্টি হয়েছে।

আরো একভাবে উপমেরুর সৃষ্টি করা যায়। কোন ইস্পাত-দণ্ডের উপর অন্তরিত তামার তার এমনভাবে জড়ানো হ'ল, যাতে দণ্ডের এক অংশে পাক যে দিকে, অপর অংশে পাক তার বিপরীত দিকে হ'ল। এবার কোন তড়িৎ কোষের সাহায্যে তারের মধ্য দিয়ে কিছুক্ষণ তড়িৎ-প্রবাহ পাঠানো হ'ল। তাহলে দণ্ডটি চুম্বকে পরিণত হবে। পাশের চিত্র (fig. 123 অনুযায়ী, দণ্ডের বাঁদিকে তড়িৎ-প্রবাহের দিক ঘড়িরকাঁটার দিকে ব'লে, বাঁদিকে দক্ষিণ মেরুর উৎপত্তি হবে। আবার ভালো ক'রে লক্ষ্য করলে দেখা যাবে যে, দণ্ডটির ডানদিকেও তড়িৎ-প্রবাহের দিক ঘড়ির কাঁটার দিকে, অতএব সেদিকেও দক্ষিণ মেরুর উৎপত্তি হবে। তাহলে দণ্ডের মাঝখানে উত্তর মেরুর সৃষ্টি হবে। অন্য একটি দণ্ড-চুম্বক নিয়ে এই চুম্বকের মেরুর প্রকৃতির পরীক্ষা সঙ্গে সঙ্গে করতে হবে। কারণ, উপমেরু খুব অল্প সময়ের জন্য স্থায়ী হয়।

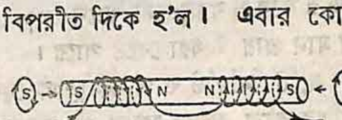


Fig. 123

93. দুটি মেরুর মধ্যে চৌম্বক বল সম্পর্কিত কুলম্ব সূত্রটি লেখ। একক মেরুর সংজ্ঞা লেখ। এই বলের সহিত দুটি বস্তুকণার মধ্যে মহাকর্ষীয় বলের পার্থক্য কি?

[Write down Coulomb's laws of magnetic force between two poles. Deduce unit magnetic pole. How does this force differ with gravitational force between two particles ? ]

● **কুলম্ব-এর সূত্র ( Coulomb's Law ) ঃ**

যে-কোন দুটি মেরুর মধ্যে আকর্ষণ বা বিকর্ষণের পরিমাণ সবসময়ে সমান হয় না। এর পরিমাণ উভয় মেরুর দূরত্ব, এদের শক্তি (pole strength ) এবং অন্তর্বর্তী মাধ্যমের উপর নির্ভর করে। দুটি পৃথক চুম্বক মেরুর মধ্যে আকর্ষণ ও বিকর্ষণের সূত্র ফরাসী বৈজ্ঞানিক কুলম্ব্ (Coulomb) সর্বপ্রথম বিবৃত করেন। সূত্রটি এইরকম ঃ

নির্দিষ্ট মাধ্যমে, দুটি চুম্বক মেরুর মধ্যে আকর্ষণ বা বিকর্ষণ বল উভয় মেরুর মেরুশক্তির গুণফলের সমানুপাতিক ও উভয়ের দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক।

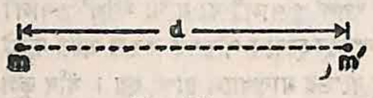


Fig. 124

মেরু-শক্তিদ্বয় যথাক্রমে $m$ এবং $m'$, উভয়ের মধ্যে দূরত্ব $d$ cm. ( fig. 124 ) ও উভয়ের মধ্যে আকর্ষণ বল F হলে,

$F \propto mm'$ [ যখন $d$ ধ্রুবক ]

এবং $F \propto \frac{1}{d_2}$ [ যখন $m, m'$ ধ্রুবক ]

$\therefore F \propto \frac{mm'}{d^2}$ [ যখন $m, m'$ ও $d$ সকলেই পরিবর্তনশীল ]

বা, $F = \frac{1}{\mu} \times \frac{mm'}{d^2}$ [$\mu$ = একটি ধ্রুবক ]

$\mu$-কে মাধ্যমের **প্রবেশ্যতা** (permeability) বলা হয়। **$\mu$-এর মান মাধ্যমের উপর নির্ভর** করে। বায়ুশূন্য স্থানে (vacuum) এর মান 1 ধরা হয়। অচৌম্বক পদার্থেও এর মান প্রায় 1 ধরা যেতে পারে।

দুটি নির্দিষ্ট ও পৃথক চুম্বক-মেরুর আকর্ষণ বা বিকর্ষণ দূরত্বের বর্গের ব্যস্তানুপাতিক ব'লে, অনেক সময়ে এই সূত্রকে **ব্যস্তানুপাতিক বর্গসূত্র** ( law of inverse square ) বলে।

● **একক মেরু ও এর সংজ্ঞা ( Unit Pole and its Definition) ঃ**

কুলম্ব্-এর সূত্র, $F = \frac{1}{\mu} \times \frac{mm'}{d^2}$ থেকে

যদি $m = m'$, $d = 1$ cm, $\mu = 1$ ( শূন্য মাধ্যম ) ও $F = 1$ dyne হয়, তবে,

$$1 = \frac{1}{1} \times \frac{mm}{1^2} \quad \text{বা, } m^2 = 1. \quad \text{অর্থাৎ, } m = 1$$

$m$-এর মান 1 হলে, একে **একক মেরু** ( unit pole ) বলা হয়।

**সংজ্ঞা ঃ** শূন্য মাধ্যমে কোন একটি মেরুকে সমশক্তি ও সমধর্মী কোন মেরু থেকে 1 cm দূরে রাখলে, তাদের মধ্যে বিকর্ষণী বল যদি 1 dyne হয়, তবে প্রত্যেকটি মেরুকে **একক শক্তি-বিশিষ্ট মেরু** বা **একক মেরু** বলা হয়ে থাকে।

S. I. এককে চুম্বকের মেরু-সম্পর্কিত কুলম্ব সূত্রের গাণিতিক রাশিমালা হ'ল :

$$F=\frac{mm'}{4\pi\, \mu_r \mu_0 d^2}.$$

যেখানে $\mu_0$ = শূন্যস্থানে চৌম্বক ভেদ্যতা ;

$\mu_r$ = মাধ্যমের আপেক্ষিক চৌম্বক ভেদ্যতা

মেরু-দুটিকে শূন্য স্থানে রাখা হলে, $\mu_r=1$.

$$\therefore \quad F=\frac{mm'}{4\pi\, \mu_0\, d^2}.$$

**S. I. এককে একক মেরু :**

ধরা হ'ল $m=m'=1$ ; $d=1$ metre.

বায়ু-শূন্যস্থানে $\mu_0=4\pi\times10^{-7}$ Henries/metre বা Webers/ampere-metre.

$$\therefore \quad F=\frac{1\times1}{4\pi\times4\pi\times10^{-7}\times1} \text{ Newtons.}$$

$$=\frac{10^7}{16\pi^2}\text{ Newtons.}$$

**S. I. এককে একক মেরুর সংজ্ঞা :**

শূন্য মাধ্যমে কোন একটি মেরুকে সমশক্তি এবং সমধর্মী কোন মেরু থেকে 1 metre দূরে রাখলে, তাদের মধ্যে বিকর্ষণী বল যদি $\frac{10^7}{16\pi^2}$ Newton হয়, তবে প্রত্যেকটি মেরুকে S. I **এককে একক মেরু বলে।**

| চুম্বকীয় বল | মহাকর্ষীয় বল |
|---|---|
| (1) চুম্বকীয় বল হ'ল দুইটি মেরুর মধ্যে আকর্ষণ বা বিকর্ষণ জনিত বল। | (1) মহাকর্ষীয় বল হ'ল দুটি বস্তু কণার মধ্যে আকর্ষণ-জনিত বল। |
| (2) চুম্বকীয় বলের রাশিমালা হ'ল $F=\frac{m_1m_2}{\mu r^2}$ | (2) মহাকর্ষীয় বলের রাশিমালা হ'ল $F=G.\frac{m_1m_2}{r^2}$ |
| যেখানে $m_1, m_2 \rightarrow$ দুটি মেরুর মেরু-শক্তি ; $r \rightarrow$ মেরুদ্বয়ের দূরত্ব, $\mu \rightarrow$ চৌম্বক-ভেদ্যতা। | যেখানে $m_1, m_2 \rightarrow$ দুটি বস্তুকণার ভর ; $r \rightarrow$ বস্তুকণাদ্বয়ের মধ্যে দূরত্ব ; $G \rightarrow$ মহাকর্ষীয় ধ্রুবক। |

**94.** (ক) একটি দণ্ড-চুম্বকের দক্ষিণ মেরুকে উত্তরমুখী করিয়া ভূ-চৌম্বক-ক্ষেত্রে রাখা আছে। চুম্বক বলরেখা অংকন কর এবং উদাসীন বিন্দুগুলির অবস্থান নির্ণয় কর।

(খ) একটি চুম্বকের উদাসীন বিন্দু উত্তর মেরু থেকে 10 cm দূরে চুম্বকের অক্ষের উপর চুম্বকদৈর্ঘ্য এবং ভূ-চৌম্বকক্ষেত্রের প্রাবল্য যথাক্রমে 10 cm এবং 0·30 Oersted হলে চুম্বকের মেরুশক্তির মান বাহির কর।

(a) A bar magnet is placed in earth's magnetic field with its south pole facing north. Draw the lines of force and obtain the position of neutral points.

(b) Neutral point of a magnet is situated on the axis of a magnet at a distance of 10 cm from the north pole. Find the pole strength of the magnet if the magnetic length and the intensity of Earth's magnetic field be 10 cm and 0·30 Oersted respectively.

(ক কোন একটি দণ্ড-চুম্বকের দক্ষিণ মেরুকে উত্তরমুখী ক'রে রাখলে চৌম্বক ক্ষেত্র এবং ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের মিলিত প্রয়াসে যে চৌম্বক বলরেখাগুলির সৃষ্টি হয়, তাহা চিত্রে ( fig. 125 ) দেখানো হ'ল।

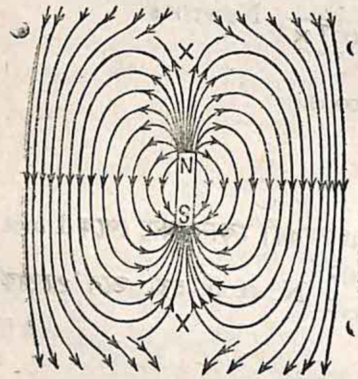


Fig. 125

এখানে দুটি উদাসীন বিন্দু পাওয়া যায়। চিত্রে X-চিহ্নের দ্বারা উদাসীন বিন্দু-দুটির অবস্থান দেখানো হ'ল। এই বিন্দু-দুটি চৌম্বক-অক্ষ বরাবর স্থাপিত হবে এবং মেরুদ্বয় থেকে বিন্দু-দুটির পারস্পরিক দূরত্ব সমান হবে।

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে, উদাসীন বিন্দু চুম্বকের অক্ষের উপর অবস্থিত। সুতরাং, ঐ বিন্দুতে চৌম্বক প্রাবল্য

$$H=\frac{2Md}{(d^2-l^2)^2}$$

এখানে $H=0·30$ Oersted, $2l=10$ বা, $l=5$ cm এবং $d=10+5=15$ cm.

অতএব $$·3=\frac{2M\times15}{(15^2-5^2)^2}$$

বা, $$M=\frac{·3\times(15^2-5^2)^2}{2\times15}$$

$$=\frac{3\times 200\times 200}{30}$$

$=400$ C. G. S. একক।

আবার আমরা জানি যে, চৌম্বক ভ্রামক $M=m\times 2l$

অতএব, চুম্বকের মেরুশক্তি

$$m=\frac{M}{2l}=\frac{400}{10}$$

$=40$ C. G. S. একক।

95. চ্যুতি কোণ এবং বিনতি কোণ কাকে বলে? পৃথিবীর কোন্ কোন্ স্থানের বিনতি কোণ 0° এবং 90°?

কলকাতার বিনতি কোণ 31°N – এই উক্তির যথার্থতা ব্যাখ্যা কর।

[Define : Declination and Dip. At which places on the surface of the earth will the dip be 0° and 90°. What do you mean by the statement that the dip of Calcutta is 31°N ?]

● **চ্যুতি কোণ ( Declination ) :**

পৃথিবীর কোন স্থানে চৌম্বক মধ্যতল এবং ভৌগোলিক মধ্যতল যে কোণ ক'রে থাকে, তাকে সেই স্থানের চ্যুতি কোণ বলে (fig. 126)। চ্যুতি কোণ ডিগ্রীতে পরিমাপ করা হয়। একে δ দ্বারা সূচিত করা হয়।

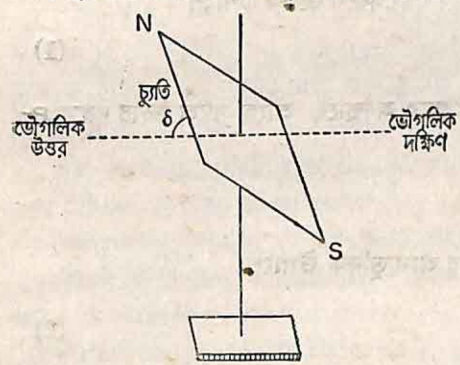



Fig. 126




Fig 127

● **বিনতি কোণ ( Dip ) :**

কোণ স্থানের পৃথিবীর চৌম্বকক্ষেত্রের মোট প্রাবল্যের অভিমুখ ঐ স্থানে ভূ-চুম্বকের আনুভূমিক উপাংশের সঙ্গে যে-কোণ উৎপন্ন করে, তাকেই বিনতি কোন বলে ( fig 127 )।

পৃথিবীর কোন্ কোন্ স্থানের বিনতি কোণ 0° এবং 90°—ইহা অক্ষাংশের সহিত বিনতি কোণের সম্পর্ক থেকে নির্ণয় করা যায়।

**অক্ষাংশের সহিত বিনীত কোণের সম্পর্ক ঃ**

মনে করা হ'ল, পৃথিবী $r$ ব্যাসার্ধের একটি গোলক। উহার কেন্দ্রে M চৌম্বক-ভ্রামক-বিশিষ্ট একটি দণ্ড-চুম্বক। AB হ'ল চৌম্বক নিরক্ষরেখা (fig. 128)। ভূ-পৃষ্ঠের উপরে P একটি বিন্দু লওয়া হ'ল, যার চৌম্বক-অক্ষাংশ = $\lambda$।

চিত্রানুসারে,

$N_1S_1$ অভিমুখে চৌম্বক ভ্রামকের উপাংশ $= M\cos\alpha$

$$= M\cos(90-\lambda)$$

$$= M\sin\lambda$$

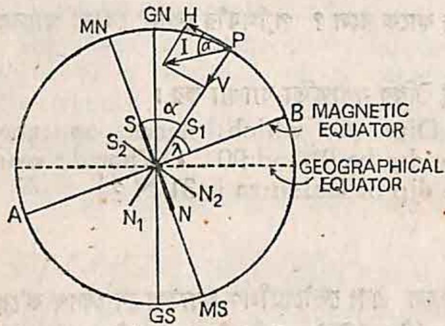



Fig. 128

$N_2S_2$ অভিমুখে চৌম্বক ভ্রামকের উপাংশ $= M\sin\alpha$

$$= M\sin(90-\lambda)$$

$$= M\cos\lambda.$$

P বিন্দু $N_1S_1$ চুম্বকের প্রান্ত অবস্থানে আছে ব'লে উহার দরুন P-বিন্দুতে প্রাবল্য

$$= \frac{2M\sin\lambda}{r^3}$$

অতএব, P বিন্দুতে ভূ-চুম্বক-ক্ষেত্রের উল্লম্ব উপাংশ

$$V = \frac{2M\sin\lambda}{r^3}. \qquad (1)$$

আবার, P বিন্দু $N_2S_2$ চুম্বকের বিষুব অবস্থানে আছে ব'লে উহার দরুন P-বিন্দুতে প্রাবল্য

$$= \frac{M\cos\lambda}{r^3}.$$

অতএব, P বিন্দুতে ভূ-চৌম্বক ক্ষেত্রের আনুভূমিক উপাংশ

$$H = \frac{M\cos\lambda}{r^3} \qquad (2)$$

(1) নং এবং (2) নং সমীকরণ থেকে আমরা পাই,

$$\frac{V}{H} = 2\tan\lambda.$$

কিন্তু $\frac{V}{H} = \tan\theta$, যেখানে $\theta$ = বিনতি কোণ

$$\therefore \tan\theta = 2\tan\lambda \qquad (3)$$

অর্থাৎ, বিনতি কোণের ট্যানজেণ্ট = 2 × চৌম্বক-অক্ষাংশের ট্যানজেন্ট।

অতএব, P বিন্দুতে মোট চৌম্বকপ্রাবল্য

$$I=\sqrt{H^2+V^2}$$

$$=\sqrt{\left(\frac{M\cos\lambda}{r^3}\right)^2+\left(\frac{2M\sin\lambda}{r^3}\right)^2}$$

$$=\frac{M}{r^3}\sqrt{1+3\sin^2\lambda} \qquad (4)$$

**ক্ষেত্র** $I$ **:** যখন P বিন্দুটি চৌম্বক নিরক্ষরেখায় অবস্থিত, তখন $\lambda=0$.

অতএব, (3)নং সমীকরণ থেকে আমরা পাই $\theta=0$.

সুতরাং, চৌম্বক নিরক্ষরেখায় বিনতি কোণ $\theta$-এর মান শূন্য।

$$\therefore\ I_e=\frac{M}{r^3}.$$

**ক্ষেত্র** $II$ **:** যখন P বিন্দুটি চৌম্বক মেরুতে অবস্থিত, তখন $\lambda=90°$.

অতএব, (3) নং সমীকরণ থেকে আমরা পাই, $\theta=90°$.

সুতরাং, চৌম্বক মেরুতে বিনতি কোণ $\theta$-এর মান 90°

$$\therefore\ I_p=\frac{2M}{r^3}$$

অর্থাৎ $I_p=2\times I_e$

অর্থাৎ, মেরুতে চৌম্বক প্রাবল্য = 2 × বিষুবরেখায় চৌম্বক প্রাবল্য।

কলকাতার বিনতি কোণ 31°N বলতে বোঝায়, কলকাতায় কোন চুম্বক-শলাকাকে মুক্তভাবে [ যা একটি উল্লম্ব তলে ( vertical plane ) ঘুরতে পারে ] তার ভারকেন্দ্রে ঝুলিয়ে দিলে, তার উত্তর মেরু আনুভূমিক তল থেকে নীচের দিকে 31° কোণ ক'রে থাকবে।

96. চৌম্বক আণবিক তত্ত্বের আলোকে চৌম্বক আবেশ, ঘর্ষণ-জনিত চুম্বকন এবং চৌম্বক সংপৃক্তির ব্যাখ্যা দাও।

পরাচৌম্বক, তিরশ্চৌম্বক এবং অয়শ্চৌম্বক পদার্থের বৈশিষ্ট্যগুলি লেখ।

ক্যুরী তাপমাত্রার উপরে একটি অয়শ্চৌম্বক পদার্থকে উত্তপ্ত করা হলে, উহার ধর্মের কি পরিবর্তন ঘটবে?

[ Explain magnetic induction, magentisation by friction and magnetic saturation on the light of molecular theory of magnetism.

What are the characteristics of para-, dia- and ferro-magnetic substances. What would be the change in the property of ferro-magnetic substance when heated above the Curie temperature ? ]

● **আণবিক তত্ত্বের সাহায্যে চৌম্বক আবেশের ব্যাখ্যা :**

যখন কোন কাঁচা লোহার দণ্ডকে কোন চুম্বকের কাছে আনা হয়, তখন দণ্ডের

যে-প্রান্ত চুম্বকের উত্তর মেরুর দিকে থাকে, সেইদিকে দক্ষিণ মেরুর সৃষ্টি হয়। কারণ, বদ্ধ-মুখ-শৃঙ্খলের ওয়েবার উপাদানের দক্ষিণ মেরুগুলি চুম্বকের উত্তর মেরু




Fig. 129

দ্বারা আকৃষ্ট হয়ে শৃঙ্খলমুক্ত হয়ে যায় ( fig. 129 )। এর ফলে, চুম্বকের উত্তর মেরুর কাছে আবিষ্ট চুম্বকের দক্ষিণ মেরু হয়ে থাকে। দণ্ডের অপর প্রান্ত উত্তর মেরুর মতো ব্যবহার করে।

● **আণবিক তত্ত্বের সাহায্যে ঘর্ষণ-জাত চুম্বকত্বের ব্যাখ্যা ঃ**

একটি দণ্ড-চুম্বকের উত্তর মেরু যখন কোন চৌম্বক পদার্থের এক প্রান্তে ঠেকানো হয়, তখন সংযোগ-স্থলের কাছাকাছি ওয়েবার উপাদানের দক্ষিণ মেরুগুলি চুম্বকের উত্তর মেরুর দিকে ঘুরে যায় ; অর্থাৎ, উপাদানগুলির উত্তর মেরু ঘর্ষণকারী মেরুর বিপরীত দিকে ঘোরে। যতই ঘর্ষণকারী মেরুকে চৌম্বক পদার্থের গা বেয়ে অন্য প্রান্তের দিকে নিয়ে যাওয়া হয়, ততই স্পর্শরেখা-বরাবর ওয়েবার উপাদানগুলি ঐভাবে ঘুরে যায়। অতএব, ঘর্ষণকারী চুম্বকের উত্তর মেরু চৌম্বক পদার্থের যে-প্রান্ত থেকে তুলে নেওয়া হয়, সেই প্রান্তে দক্ষিণ মেরুর সৃষ্টি হয়। বারবার ঘষার ফলে বেশী সংখ্যক অণু সজ্জিত হয়, কিন্তু কেবল উপর পৃষ্ঠের ওয়েবার উপাদানগুলিই এই পদ্ধতিতে সজ্জিত হয়। সেজন্য চৌম্বক পদার্থটিকে উল্টে আবার ঘষতে হয়।

যে-দণ্ডটিকে চুম্বকে পরিণত করতে হবে, সেটি যত পাতলা হবে, তত তাড়াতাড়ি চুম্বকে পরিণত করা যাবে। মোটা দণ্ড নিলে অনেক সময় অনেকবার ঘষার ফলেও ভিতরের অণু-চুম্বক বা ওয়েবার উপাদান-সমূহকে সুসজ্জিত করা যায় না। এজন্য অনেকগুলি পাতলা দণ্ড নিয়ে চুম্বকিত ক'রে একসঙ্গে গেঁথে নিলে যে চুম্বক ( laminated magnet) হয়, তা অনেক বেশী শক্তিশালী হয় ( fig. 130)। অবশ্য গাঁথবার ধরনটি এরকম করতে হবে যে, প্রত্যেকটি পাতের উত্তর মেরু একই দিকে এবং দক্ষিণ মেরু অন্য দিকে থাকবে।

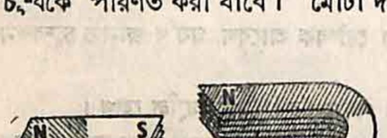



Fig. 130

● **চৌম্বক আণবিক তত্ত্বের সাহায্যে চৌম্বক সংপৃক্তির ব্যাখ্যা ঃ**

আবেশকারী চুম্বকের শক্তি বা ঘর্ষণ মাত্রা ক্রমশঃ বৃদ্ধি করলে অধিক সংখ্যক অণু-চুম্বকের শৃঙ্খল ভেঙ্গে যায় এবং উহারা অক্ষ বরাবর সরলরেখা ক্রমে সজ্জিত হয়। যখন সমস্ত অণু-চুম্বকগুলি এইরূপে সজ্জিত হয়, তখন আবেশকারী চুম্বকের শক্তি বৃদ্ধি

করা হলেও বা তড়িৎশক্তি বৃদ্ধি করা হলেও বা ঘর্ষণের মাত্রা বৃদ্ধি করা হলেও আবিষ্ট চুম্বক-শক্তি আর বৃদ্ধি পায় না। কারণ, তখন আর কোন শৃঙ্খল-যুক্ত অণু-চুম্বক অবশিষ্ট থাকে না। পদার্থের এই অবস্থাকে **চৌম্বক-সংপৃক্তি** বলে।

**পরাচৌম্বক, তিরশ্চৌম্বক এবং অয়শ্চৌম্বক পদার্থের বৈশিষ্ট্য :**

**পরাচৌম্বক পদার্থ** (Paramagnetic Substance) :

পটাসিয়াম, অ্যালুমিনিয়াম, প্ল্যাটিনাম, সোডিয়াম, অক্সিজেন প্রভৃতি পদার্থ এবং নিকেল, কোবাল্ট এবং লোহার কিছু কিছু যৌগ একটি শক্তিশালী চুম্বক দ্বারা দুর্বলভাবে আকৃষ্ট হয়। ইহাদের **পরাচৌম্বক পদার্থ** বলা হয়। পরাচৌম্বক পদার্থের চৌম্বক-ভেদ্যতা ($\mu$)। এর মান একের সামান্য বেশী।

চৌম্বকগ্রাহিতা (K)-এর মান কম কিন্তু ধনাত্মক। এই সকল পদার্থের ক্ষেত্রে তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে সাথে চৌম্বকগ্রাহিতা (K)-র পরিবর্তন সরলভাবে ঘটে থাকে। ইহারা শৈথিল্য ঘটনা ঘটায় না। ইহাদের কোন ধারণ-ক্ষমতা নেই। পরাচৌম্বক পদার্থের কোন ক্যুরী বিন্দু নেই। এই পদার্থ কঠিন, তরল এবং বায়বীয় অবস্থায় পাওয়া যায়।

পরাচৌম্বক পদার্থকে উত্তপ্ত করলে চৌম্বক-ভেদ্যতা ($\mu$) এবং চৌম্বকগ্রাহিতা (K)-এর মান হ্রাস পায়। কোন পরাচৌম্বক পদার্থের প্রতি একক ভরের চৌম্বক-গ্রাহিতার মান হ'ল :—

$X \text{ (kie)} = \frac{C}{T}$, যেখানে C হ'ল একটি ধ্রুবক এবং T হ'ল পরম তাপমাত্রা।

ইহাকে **ক্যুরী-সূত্র** বলে। পরীক্ষা দ্বারা দেখা যায় যে, এই সূত্র কেবলমাত্র গ্যাসের ক্ষেত্রে প্রযোজ্য।

পরাচৌম্বক-ধর্মী কঠিন পদার্থের ক্ষেত্রে প্রতি-একক ভরের চৌম্বকগ্রাহিতার মান হ'ল :—

$X \text{ (kie)} = \frac{C}{T-\theta}$, যেখানে C হ'ল একটি ধ্রুবক, T হ'ল পরম তাপমাত্রা এবং $\theta$ হ'ল পদার্থের বৈশিষ্ট্যমূলক তাপমাত্রা। এই সূত্রকে **ক্যুরী-ভাইস সূত্র** বলে।

**তিরশ্চৌম্বক পদার্থ** ( Diamagnetic Substance ) :

বিসমাথ, অ্যান্টিমনি, দস্তা, তামা, জল, পারদ প্রভৃতি পদার্থ একটি শক্তিশালী চুম্বক দ্বারা দুর্বলভাবে বিকর্ষিত হয়। ইহাদের **তিরশ্চৌম্বক পদার্থ** বলে।

তিরশ্চৌম্বক পদার্থগুলি কঠিন, তরল বা গ্যাসীয় অবস্থায় পাওয়া যায়। ইহাদের চৌম্বক-ভেদ্যতা ($\mu$)-এর মান একের কম এবং চৌম্বকগ্রাহিতা (K)-এর মান কম, কিন্তু ঋণাত্মক। তিরশ্চৌম্বক পদার্থ শৈথিল্য ঘটনা ঘটায় না। ইহাদের ধারণ-ক্ষমতা এবং ক্যুরী বিন্দু নাই। তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে সাথে চৌম্বকগ্রাহিতা (K)-এর কোন পরিবর্তন ঘটে না।

যখন একটি কাচ-দণ্ডকে সিল্ক দিয়ে ঘষা হয়, তখন ঘর্ষণ-জনিত বলের জন্য কাচ-সংলগ্ন কিছু সংখ্যক শিথিল ( loosely bound ) ইলেকট্রন কাচ থেকে খসে সিল্কে গিয়ে জমা হয়। কাচের ইলেকট্রনের সংখ্যা কমে যাওয়ায়, সেটি সিল্কের সাপেক্ষে ধনাত্মক হ'ল। সিল্ক সমপরিমাণ ইলেকট্রন লাভ ক'রে কাচের তুলনায় ঋণাত্মক হয়ে গেল। তাহলে কাচের যে কয়টি ইলেকট্রন কম হ'ল, সিল্কে ঠিক সে কয়টিই বেশী হ'ল। অতএব, **ঘর্ষণে উভয়প্রকার তড়িৎ সমপরিমাণে উৎপন্ন হয়।**

**100.** ইলেকট্রনীয় মতবাদের আলোকে তড়িত আবেশের ব্যাখ্যা দাও। আবেশ দ্বারা একটি বস্তুকে কিভাবে ধনাত্মক আধানে আহিত করা যায়, তাহা বিবৃত কর।

[ Explain electric induction on the light of electric theory. How would you charge a body positively by induction ? ]

● **ইলেকট্রনীয় মতবাদের আলোকে আবেশের ব্যাখ্যা :**

**আবেশ-জাত** ( by induction ) : যে-কোন পরিবাহীতে ( তড়িৎ ) বহু-সংখ্যক মুক্ত ইলেকট্রন থাকে। এদের খুব সহজেই পরিবাহী থেকে বিচ্ছিন্ন করা যায়। কোন পরিবাহীর কাছে যদি ধনাত্মক তড়িতে আহিত কোন বস্তু নিয়ে আসা হয়, তাহলে তার আকর্ষণে পরিবাহীর মুক্ত ইলেকট্রনগুলি ধনাত্মক তড়িতাহিত বস্তুর দিকে এসে ভীড় করে। যতগুলি ইলেকট্রন একপ্রান্তে ভীড় করবে, পরিবাহীর অপর প্রান্তে স্বভাবতঃই ততগুলি ইলেকট্রনের সংখ্যা কমে যাবে, অর্থাৎ, পরিবাহীর কাছের প্রান্ত ঋণাত্মক তড়িতে এবং দূর-প্রান্ত ধনাত্মক তড়িতে আহিত হবে। তড়িৎগ্রস্ত বস্তুটি সরিয়ে নিলে, মুক্তই লেকট্রনগুলি পরস্পরকে বিকর্ষণ ক'রে আবার পূর্বের অবস্থায় ফিরে যাবে। এদের কোন এক প্রান্তে ধরে রাখার মতো উপযুক্ত কোন বল আর নেই।

ধনাত্মক তড়িৎগ্রস্ত বস্তুর উপস্থিতিতে নিকট প্রান্তে ইলেকট্রনের আধিক্য ( ঋণাত্মক তড়িৎ ) এবং দূর প্রান্তে ইলেকট্রনের ঘাটতি ( ধনাত্মক তড়িৎ ) যখন হয়ে আছে—এই অবস্থায় যদি পরিবাহীটিকে স্পর্শ করা হয়, অর্থাৎ পৃথিবীর সঙ্গে যুক্ত করা হয়, তাহলে পৃথিবী থেকে প্রয়োজনীয় সংখ্যক ইলেকট্রন এসে পরিবাহীর ধনাত্মক প্রান্তকে যুগিয়ে দিয়ে তার ধনাত্মক ধর্ম নষ্ট ক'রে দেবে। এই অবস্থায় পৃথিবীর সঙ্গে পরিবাহীর

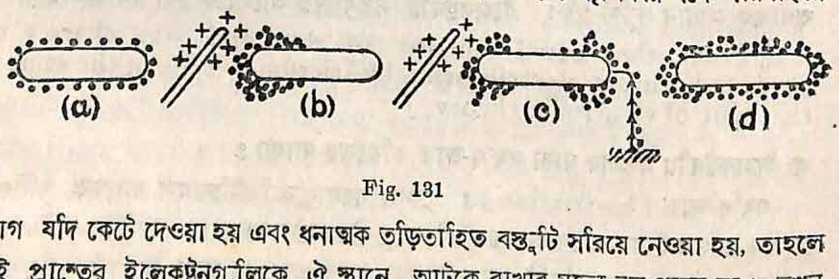



Fig. 131

যোগ যদি কেটে দেওয়া হয় এবং ধনাত্মক তড়িতাহিত বস্তুটি সরিয়ে নেওয়া হয়, তাহলে দুই প্রান্তের ইলেকট্রনগুলিকে ঐ স্থানে আটকে রাখার মতো বল থাকে না। তখন সমধর্মী তড়িতে আহিত ইলেকট্রনগুলি পরস্পরকে বিকর্ষণ করতে থাকে এবং পরিবাহীর উপর সমানভাবে ছড়িয়ে পড়ে। অর্থাৎ, তখন পরিবাহীটি ঋণাত্মক তড়িতে আহিত হয়ে যায়।

পূর্বপৃষ্ঠার চিত্রে [fig. 131] (a)-তে একটি পরিবাহীর চারপাশের মুক্ত ইলেকট্রনগুলি দেখানো হয়েছে। একটি ধনাত্মক তড়িতাহিত বস্তু এর একদিকে আনলে, এরা ধনাত্মক তড়িতের দিকে গিয়ে জমা হয়। (b)-চিত্রে এটি দেখানো হয়েছে। ধনাত্মক তড়িতের উপস্থিতিতে পরিবাহীকে পৃথিবীর সঙ্গে সংযুক্ত করলে পৃথিবী ইলেকট্রন যোগান দেবে, যতক্ষণ পর্যন্ত না পরিবাহীর ধনাত্মক প্রান্ত প্রশমিত হচ্ছে [ (c)-চিত্র ]। এর পর পৃথিবীর সংযোগ এবং তড়িতাহিত বস্তু সরিয়ে নিলে, ইলেকট্রনগুলি পরস্পর বিকর্ষণ ক'রে সমভাবে ছড়িয়ে পড়ে। এটি [ (d)-চিত্রে ] দেখানো হয়েছে।

**101.** পরীক্ষা দ্বারা দেখাও যে, একটি আহিত পরিবাহীর আধান উপরপৃষ্ঠে অবস্থান করে।

[ Prove experimentally that charge resides on the outer surface of a charged conductor. ]

**● কোন তড়িতাহিত ফাঁপা পরিবাহকের আধান সর্বদা পরিবাহকের উপরপৃষ্ঠে অবস্থান করে (Charge resides only upon the outer surface of a hollow conductor) :**

কোন পরিবাহীকে যদি তড়িতাহিত করা হয়, তাহলে দেখা যায় যে, তড়িতাধান সবসময়েই পরিবাহীর উপরপৃষ্ঠে অবস্থান করে। এটি কয়েকটি পরীক্ষা দ্বারা প্রমাণ করা যেতে পারে। যথা :

1. **বায়টের পরীক্ষা** ( Biot's experiment ) :

এই পরীক্ষার জন্য একটি ধাতব গোলক এবং দুটি পাতলা ধাতব অর্ধ-গোলকের প্রয়োজন ( fig. 132 )। পূর্ণ ধাতব গোলক একটি অপরিবাহী দণ্ডের উপর বসানো থাকে এবং অন্য দুটি অর্ধ-গোলকের সঙ্গে একটি ক'রে অপরিবাহী পদার্থ দ্বারা তৈরী হাতল লাগানো থাকে। অর্ধ-গোলক-দুটির মাপ এমন হয় যে, দুটিকে পরস্পর জোড়া লাগালে সেটি ধাতব গোলককে সম্পূর্ণরূপে ঢেকে দিতে পারে।

প্রথমে পূর্ণ গোলকটিকে ধন- বা ঋণ-তড়িতাহিত করা হ'ল। এখন অর্ধ-গোলক দুটি দিয়ে সাবধানে পূর্ণ গোলকটিকে এমনভাবে ঢেকে দেওয়া হ'ল, যাতে অর্ধ-গোলক-দুটি পূর্ণ গোলকটিকে স্পর্শ না করে। এরপর অর্ধ-গোলক-দুটি সরিয়ে নিয়ে আধান সংগ্রাহক দ্বারা এদের তড়িৎধর্ম পরীক্ষা করা হ'ল। দেখা যাবে যে, অর্ধ-গোলক-দুটি তড়িৎ শূন্য। কিন্তু পূর্ণ গোলকটি পরীক্ষা করলে দেখা যাবে, সেটি তড়িতাহিত অবস্থাতেই আছে।



Fig. 132

আবার অর্ধ-গোলক-দুটিকে মুখোমুখি ক'রে পূর্ণ গোলকটিকে ঢেকে দেওয়া হ'ল এবং এদের পূর্ণ গোলকটির সঙ্গে স্পর্শ করানো হ'ল। এর পর

অর্ধ-গোলক-দুটি স'রিয়ে নিয়ে, আধান সংগ্রাহক দ্বারা এদের তড়িৎধর্ম পরীক্ষা করা হ'ল। দেখা যাবে, এদের বাইরের অংশ পূর্ণ গোলকের তড়িৎ দ্বারা তড়িতাহিত এবং পূর্ণ গোলকটি তড়িৎহীন হয়েছে। এর কারণ, অর্ধ-গোলক দ্বারা তৈরী একটা পূর্ণ গোলক অপর পূর্ণ গোলকটিকে স্পর্শ করায়, এর সমস্ত তড়িৎ অর্ধ-গোলক-দুটিতে চলে এসেছে এবং এদের উপরিপৃষ্ঠে অবস্থান করছে। যদিও অর্ধ-গোলক-দুটির ভিতরের অংশ পূর্ণ গোলকটির সংস্পর্শে আনা হয়েছে, তবুও আধান অর্ধ-গোলক-দুটির বাইরের পৃষ্ঠে আছে। অর্থাৎ, পরিবাহীর আধান সর্বদা এর উপরের পৃষ্ঠে অবস্থান করে।

2 **ফাঁপা পরিবাহীর পরীক্ষা** (Experiment with a hollow conductor)

একটি ফাঁপা ধাতব গোলক কোন অপরিবাহী দণ্ডের তৈরী স্ট্যাণ্ডের উপর রাখা আছে। গোলকটির উপরের খানিকটা অংশ গোল ক'রে কাটা আছে। গোলকটি ঘর্ষণ দ্বারা তড়িতাহিত করা হ'ল। এখন একটি আধান সংগ্রাহক গোলকের বাইরের যে-কোন অংশ ঠেকিয়ে ( fig. 133 ) কোন অনাহিত তড়িৎবীক্ষণের চাকতিতে ঠেকালে দেখা যাবে যে, পাতা-দুটির বিস্ফারণ হবে। এবারে বীক্ষণ এবং সংগ্রাহক—উভয়কে হাত দিয়ে স্পর্শ ক'রে অনাহিত করা হ'ল। এখন যদি সংগ্রাহকটিকে ধাতব গোলকের ভিতরের অংশে ঠেকিয়ে ( fig. 133 ) বীক্ষণের চাকতিতে লাগানো হয়, তাহলে পাতা-দুটির কোনরকম বিস্ফারণ দেখা যাবে না। এর থেকে প্রমাণিত হয় যে, ধাতব গোলকটির ভিতরের অংশে কোন আধান নেই। অর্থাৎ, ফাঁপা পরিবাহী তড়িতাহিত হলে, তড়িতাধান সবসময়েই এর উপরি-পৃষ্ঠে থাকে।

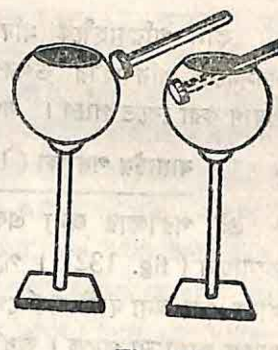


Fig. 133

102. সমবিভব তল কাকে বলে? প্রমাণ কর যে, তড়িৎপ্রাবল্য সমবিভব তলের উপর লম্বভাবে থাকে।

[ What is equipotential surface ? Show that electric intensity is perpendicular to an equipotential surface. ]

● **সমবিভব তল (Equipotential Surface) ঃ**

**সংজ্ঞা ঃ** কোন তড়িৎক্ষেত্রের যে সব বিন্দুতে বিভব সমান, সেই বিন্দুগুলি যে-তলে অবস্থিত, সেই তলকে **সমবিভব তল** বলে।

যেহেতু এই তলের যে-কোন দুই বিন্দুতে বিভব সমান, সেহেতু এক বিন্দু থেকে অন্য বিন্দুতে কোন আধান নিয়ে গেলে কোন কাজ করা হয় না। আবার, বলরেখা প্রাবল্যের অভিমুখ নির্দেশ করে ব'লে, এর কোন উপাংশ সমবিভব তল বরাবর থাকতে পারে না। অর্থাৎ, সমবিভব তল এবং বলরেখা পরস্পরকে লম্বভাবে ছেদ করে।

তড়িৎ-প্রাবল্য সমবিভব তলের উপর লম্বভাবে থাকে। ইহার প্রমাণ নিম্নে দেওয়া হ'ল।

মনে করা হ'ল AOB একটি সমবিভব তল। OE হ'ল একটি তড়িৎ বলরেখা। উহা AOBকে $\theta$ কোণে ছেদ করে (fig. 134)। যেহেতু তড়িৎ বলরেখা তড়িৎ প্রাবল্যের অভিমুখ নির্দেশ করে, সুতরাং মনে করা হ'ল তড়িৎ প্রাবল্য E-এর অভিমুখ OE সমবিভব তল AOB এর সহিত $\theta$ কোণে আনত। অতএব, O বিন্দুতে সমবিভব তলের OD অভিমুখে প্রাবল্যের উপাংশ E $\cos\theta$ এবং উক্ত তলের অভিলম্ব অভিমুখে প্রাবল্যের উপাংশ E $\sin\theta$।

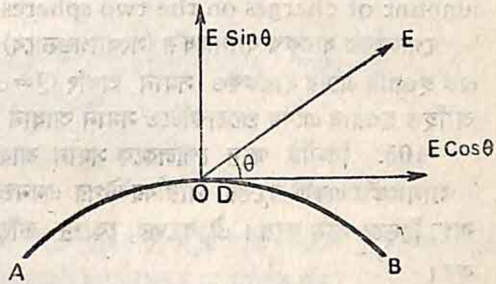


Fig. 134

যদি একটি একক আধানকে উক্ত সমবিভব তলে OD বরাবর $dx$ দূরত্বে স্থানান্তরিত করা যায়, তবে কৃতকার্য

$$dV = E\cos\theta \times dx.$$

সমবিভব তলের ক্ষেত্রে বিভব সর্বত্র সমান, সুতরাং $dV=0$।

$$\therefore \quad E\cos\theta \times dx = 0.$$

যেহেতু $E \neq 0$ এবং $dx \neq 0$, সুতরাং $\cos\theta = 0 \quad \therefore \quad \theta = 90^\circ$.

অর্থাৎ, তড়িৎ-প্রাবল্য সমবিভব তলের উপর লম্বভাবে থাকে।

**103**. তড়িৎ বলরেখা কেন পরস্পরকে ছেদ করে না, তাহা ব্যাখ্যা কর। যদি একটি বিন্দুর তড়িৎ বিভবের মান শূন্য হয়, তবে ঐ বিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্যের মান থাকিবে কি? যুক্তি সহকারে ব্যাখ্যা কর।

[ Explain why electric lines of force cannot intersect each other. Can electric intensity at a point exist if the electric potential at the point be zero? Explain your answer. ]

দুটি তড়িৎ বলরেখা কখনই পরস্পরকে ছেদ করে না। কারণ আমরা জানি যে, তড়িৎ বলরেখার যে-কোন বিন্দুতে স্পর্শক অংকন করা হলে ঐ বিন্দুর ক্ষেত্রপ্রাবল্যের অভিমুখ নির্দেশ করে। অতএব, দুটি বলরেখা পরস্পরকে ছেদ করলে ছেদ-বিন্দুতে তড়িৎ-বলরেখা-দুটির উপর বিভিন্ন দিকে দুটি স্পর্শক টানতে হবে। কিন্তু ইহা কখনই সম্ভবপর নহে। তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রত্যেক বিন্দুতে তড়িৎ-ক্ষেত্রপ্রাবল্য কেবলমাত্র একটি নির্দিষ্ট অভিমুখে ক্রিয়াশীল হয়। সুতরাং, দুটি তড়িৎ বলরেখা কখনই পরস্পরকে ছেদ করে না।

সম পরিমাণ দুটি বিপরীত তড়িৎ আধান $+q$ এবং $-q$ এর তড়িৎ ক্ষেত্রে দুই আধানের সংযোজনকারী সরলরেখার মধ্যবিন্দু দিয়া অতিক্রান্ত এবং ঐ সরলরেখার সমকোণে বিবেচনাধীন সরলরেখার উপর যে-কোন বিন্দুতে তড়িৎ বিভবের মান শূন্য

হয়। কিন্তু তড়িৎ প্রাবল্যের মান শূন্য হয় না, কারণ তড়িৎ প্রাবল্যের অভিমুখ উক্ত সরলরেখার সমকোণে থাকে।

**104.** সম ব্যাসার্ধের দুইটি গোলাকার পরিবাহীর একটি ফাঁপা এবং অপরটি নিরেট। ইহাদিগকে একই বিভবে আহিত করা হ'ল। দুটি গোলকের উপর আধানের পরিমাণ কি হবে, তাহা ব্যাখ্যা কর।

[Two spherical conductors of equal radius—one hollow and the other solid are charged to same potential. What would be the amount of charges on the two spheres ? Explain. ]

গোলকের ধারকত্ব ব্যাসার্ধের (সংখ্যাগতভাবে) সমান। দুটি গোলকের ব্যাসার্ধ এক হওয়ায় এদের ধারকত্বও সমান অর্থাৎ $Q=cv$ ; দুটি গোলক আবার একই বিভবে আহিত হওয়ায় এদের প্রত্যেকটিতে সমান আধান থাকবে।

**105.** তিনটি ক্ষুদ্র গোলককে সমান আধানে আহিত করা হ'ল এবং উহাদিগকে $r$ ব্যাসার্ধের একটি বৃত্তের পরিধির উপর এমনভাবে বসানো হ'ল যে, তারা একটি সমবাহু ত্রিভুজ গঠন করে। ঐ বৃত্তের কেন্দ্রে তড়িৎক্ষেত্রের প্রাবল্য এবং বিভব নির্ণয় কর।

[Three small spheres are equally charged and they are placed on the circumference of a circle of radius $(r)$ to form an equilateral triangle. Obtain an expression of electric field and potential at the centre of the circle. ]

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে, ABC সমবাহু ত্রিভুজ (fig. 135 )। A বিন্দুর আধানের জন্য O কেন্দ্রবিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য।

$$E_1=\frac{q}{r^2}$$

B বিন্দুর আধানের জন্য O কেন্দ্রবিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য।

$$E_2=\frac{q}{r^2}$$

C বিন্দুর আধানের জন্য O কেন্দ্রবিন্দুতে তড়িৎ প্রাবল্য

$$E_3=\frac{q}{r^2} \quad \text{যেখানে} \quad q=\text{আধান।}$$

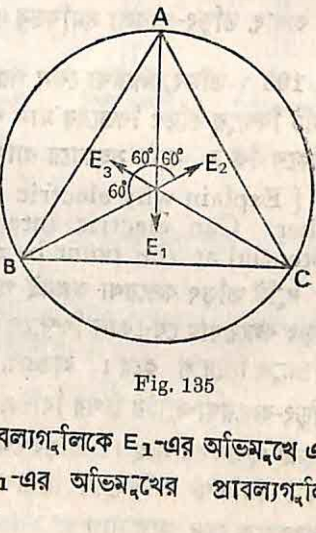



Fig. 135

চিত্রে প্রাবল্যগুলির অভিমুখ দেখানো হ'ল। প্রাবল্যগুলিকে $E_1$-এর অভিমুখে এবং $E_1$-এর অভিলম্ব অভিমুখে বিভাজন করিয়া $E_1$-এর অভিমুখের প্রাবল্যগুলির উপাংশগুলির সমষ্টি হবে

$$=E_1-E_2\cos 60^\circ-E_3\cos 60^\circ$$

$$=\frac{q}{r^2}-\frac{q}{r^2}\cos 60^\circ-\frac{q}{r^2}\cos 60^\circ$$

$$= \frac{q}{r^2} - \frac{2q}{r^2} \cos 60^\circ = 0.$$

$E_1$-এর অভিমুখের অভিলম্ব দিকে প্রাবল্যের উপাংশগুলির সমষ্টি হবে

$$= E_2 \sin 60^\circ - E_3 \sin 60^\circ$$

$$= \frac{q}{r^2} \sin 60^\circ - \frac{q}{r^2} \sin 60^\circ$$

$$= 0.$$

অতএব, $r$-ব্যাসার্ধ-বিশিষ্ট বৃত্তের কেন্দ্র O বিন্দুতে লব্ধি প্রাবল্য $= 0$.

উক্ত বৃত্তের কেন্দ্র O বিন্দুতে মোট বিভব

$$\frac{q}{r} + \frac{q}{r} + \frac{q}{r} = \frac{3q}{r}.$$

1 6. শ্রেণী সমবায়ে এবং সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত দুটি ধারকের তুল্যাঙ্ক-ধারকত্ব যথাক্রমে ·03 $\mu$F এবং ·16$\mu$F. ধারদ্বয়ের ধারকত্বের মান বাহির কর।

The equivalent capacitances of two condensers connected in series and in parallel are respectively ·03 $\mu$F and ·16 $\mu$F. Find the capacitances of the condensers. ]

ধরা যাক, দুটি ধারকের ধারকত্ব যথাক্রমে $C_1$ এবং $C_2$.

শ্রেণী সমবায়ের ক্ষেত্রে,

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

বা, $$\frac{1}{\cdot 03} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \quad (1)$$

সমান্তরাল সমবায়ের ক্ষেত্রে, $C = C_1 + C_2$

বা, $$\cdot 16 = C_1 + C_2 \quad (2)$$

(1) নং সমীকরণ থেকে, $$\frac{1}{\cdot 03} = \frac{C_1 + C_2}{C_1 C_2} = \frac{16}{C_1 C_2}$$

বা, $$C_1 C_2 = \cdot 16 \times \cdot 03 = \cdot 0048 \quad (3)$$

$$(C_1 - C_2)^2 = (C_1 + C)^2 - 4C_1 C_2$$

$$= (\cdot 16)^2 - 4 \times 0048$$

$$= \cdot 0256 - \cdot 0192 = \cdot 0064$$

$\therefore \quad C_1 - C_2 = \cdot 08$

এখন $\quad C_1 + C_2 = \cdot 16$

$\quad C_1 - C_2 = \cdot 08$

হয় এবং জলের উষ্ণতা-বৃদ্ধি $T_1$°C হয়, তবে রোধ $R_1 = V_1/C$ হবে। এখন প্রথম পরিবাহী কুণ্ডলী-কৃত তার সরিয়ে, এর জায়গায় দ্বিতীয় পরিবাহীটি রেখে আগের মতো অবশিষ্ট যন্ত্রের সঙ্গে যোগ করা হ'ল। পরিবর্তনশীল রোধ এমন করা হয়, যাতে প্রবাহ-মাত্রা C-র মান অপরিবর্তিত থাকে। এখন C মাত্রাযুক্ত প্রবাহ $t$ সময় ধরে $R_2$ রোধ-বিশিষ্ট পরিবাহীতে প্রবাহিত করালে, তরলের উষ্ণতা-বৃদ্ধি ঘটবে। ভোল্টমিটার V-তে যদি বিভব-বৈষম্যের মাত্রা $V_2$ হয়, তাহলে দ্বিতীয় তারের রোধ $R_2 = V_2/C$ হবে। থার্মোমিটারের সাহায্যে তরলের উষ্ণতা-বৃদ্ধি ( $T_2$°C ) দেখা হ'ল। দেখা যাবে যে,

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{WT_1}{WT_2} = \frac{H_1}{H_2} \qquad [\text{ যখন C এবং } t \text{ স্থির }]$$

এটি দ্বারা জুলের **তৃতীয় সূত্রের** সত্যতা **প্রমাণিত** হ'ল।

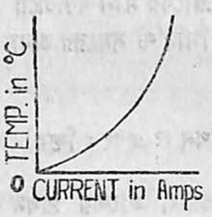



Fig. 151

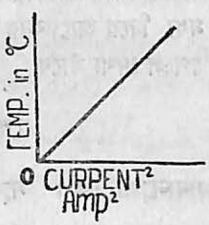



Fig. 152

লেখচিত্রের সাহায্যে জুলের প্রথম সূত্রের সত্যতা নির্ধারণ করতে হলে, হয় প্রবাহ-মাত্রা এবং উষ্ণতা-বৃদ্ধির লেখ আঁকতে হবে, না হয় ( প্রবাহ-মাত্রা )$^2$ এবং উষ্ণতা-বৃদ্ধির লেখ আঁকতে হবে।

প্রবাহ-মাত্রা ও উষ্ণতার লেখ প্রকৃতিতে অধিবৃত্তীয় (parabolic) এবং ( প্রবাহমাত্রা )$^2$ ও উষ্ণতার লেখ সরলরৈখিক হবে (figs. 151 এবং 152 )

● **J-এর মান নির্ণয় ( Determination of J ) ঃ**

তড়িৎ-প্রবাহের তাপীয় ফল সংক্রান্ত জুলের সূত্র থেকে আমরা পাই,

$$H = \frac{1}{J} \times C^2RT \quad \text{বা,} \quad J = \frac{C^2RT}{H} \text{ Joule/cal.}$$

যেখানে H = উৎপন্ন তাপ, C = প্রবাহ-মাত্রা, R = রোধ, T = উষ্ণতা-বৃদ্ধি এবং J = জুলের তুল্যাঙ্ক।

পরীক্ষার সাহায্যে J-এর মান নির্ণয় করা যায়।

**পরীক্ষা ঃ** একটি জানা জলসম-বিশিষ্ট (W) ক্যালরিমিটারের ওজন নেওয়া হ'ল। এর দুই-তৃতীয়াংশ তারপিন তেল দিয়ে পূর্ণ ক'রে পুনরায় ওজন নেওয়া হ'ল। এদের বিয়োগফল থেকে তেলের ভর($m$)জানা যাবে। থার্মোমিটারের সাহায্যে তেল ও ক্যালরিমিটারের উষ্ণতা লিপিবদ্ধ করা হ'ল($t_1$°C)। এখন, 238 পৃষ্ঠায় প্রদত্ত চিত্র (fig. 150 ) অনুযায়ী অবস্থা অবলম্বন ক'রে, চাবি (K) টিপে একটি নির্দিষ্ট সময়ের জন্য (T) বর্তনীর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহিত ( প্রায় 15 মিনিট ) হতে দেওয়া হ'ল। স্টপ-ঘড়ির সাহায্যে এই সময় দেখা হ'ল। তড়িৎ-প্রবাহকালে ভোল্টমিটার (V) ও অ্যামমিটারের (A) মান লিপিবদ্ধ করা হ'ল। এদের ভাগফল (V/A) হবে তরলের মধ্যে

নিমজ্জিত পরিবাহী তারের রোধের মান। এই অবস্থায় থার্মোমিটারের পাঠ দেখা হ'ল। দেখা যাবে যে, উষ্ণতা বেড়ে গেছে ($t_2$°C)।

তাহলে, কৃত কাজ = $C^2RT$ = E. C. T [∵ E = CR]

[ E-র মান ভোল্টমিটার থেকে C-র মান অ্যামমিটার থেকে ও সময় (T)-র মান স্টপঘড়ি থেকে পাওয়া গেছে। ]

উৎপন্ন তাপ = $(W+ms)\ (t_2-t_1)$

[ W = ক্যালমিটারের জলসম, $m$ = তারপিন তেলের ভর, $s$ = তারপিন তেলের আপেক্ষিক তাপ, $t_1$ = প্রারম্ভিক উষ্ণতা ও $t_2$ = অন্তিম উষ্ণতা। ]

$$\therefore\ J=\frac{ECT}{(W+ms)\ (t_2-t_1)}$$

ডানদিকের সমস্ত রাশির মান জানা থাকায় J-র মান সহজেই নির্ণয় করা যাবে। সি. জি. এস. পদ্ধতিতে J-র একক—আর্গ/ক্যালরি।

**J-এর মান নির্ণয়ের বর্তনী চিত্র :**

238নং পৃষ্ঠায় প্রদত্ত [ fig. 150 ] চিত্রটি দেখ।

118. তড়িৎ-শক্তি এবং তড়িৎ-ক্ষমতা কাকে বলে? ইহাদের ব্যবহারিক এককগুলি লেখ।

ওয়াট, কিলো-ওয়াট আওয়ার এর সংজ্ঞা দাও।

একটি বাতির গায়ের 230V – 100W লেখা আছে। ইহার তাৎপর্য ব্যাখ্যা কর। ভাস্বর অবস্থায় এর রোধ কত হবে? যদি বাতিটি প্রত্যহ 6 ঘণ্টা ক'রে জ্বলে, তবে 30 দিনের মাসে কত একক তড়িৎ-শক্তি ব্যয়িত হবে, তাহা বাহির কর।

[ Define Electrical energy and power. Write down their practical units.

Define : watt, kilo-watt-hour.

230V – 100W is written on a bulb. Explain its significance. What would be its resistance when it is incandescent?

How many units of electrical energy will be consumed by the bulb in 30 days if the bulb is lighted 6 hours in each day? ]

## ● তাড়িতিক শক্তি এবং ক্ষমতার ব্যবহারিক একক ( Practical Units of Electrical Energy and Power ) :

**সংজ্ঞা :** তড়িৎ-প্রবাহের কাজ করবার সামর্থ্যকে এর শক্তি (energy) বলা হয়। যদি কোন পরিবাহীর দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্য V ভোল্ট এবং এর মধ্য দিয়ে Q কুলম্ব পরিমাণ তড়িৎ-প্রবাহিত হয়, তাহলে,

তড়িৎ-শক্তি = QV জুল = QV × $10^7$ আর্গ।

তড়িতাধানে পরিমাণ (Q)-এর অর্থ হচ্ছে—প্রবাহ-মাত্রা (C) এবং সময়ের ($t$) গুণফল।

যোগ ক'রে আমরা পাই $2c_1 = \cdot 24$ $\therefore$ $c_1 = \cdot 12$.

(2) নং সমীকরণে $c_1$-এর মান বসাইয়া আমরা পাই, $c_2 = \cdot 04$.

ধারক-দুটির ধারকত্ব যথাক্রমে $\cdot 12 \mu F$ এবং $\cdot 04$ $\mu F$.

**107.** দুটি ফাঁপা গোলাকার পরিবাহীকে আহিত করা হ'ল। ক্ষুদ্রতর পরিবাহীর বিভব 100v এবং বৃহত্তর পরিবাহীর বিভব 150v। উহাদের কিরূপ রেখে পরস্পরকে একটি পরিবাহীর সঙ্গে যুক্ত করলে ক্ষুদ্রতর পরিবাহী থেকে বৃহত্তর পরিবাহীতে ধনাত্মক তড়িতাধান প্রবাহিত হবে?

[Two hollow spherical conductors are charged. The potential of the smaller conductor is 100 V and that of bigger conductor is 150 v. How would they be arranged so that if they are connected by a conductor, positive charge flows form smaller conductor to bigger conductor.]

আমরা জানি যে, ধনাত্মক তড়িৎ আধান সর্বদা উচ্চতর বিভব থেকে নিম্নতর বিভবের দিকে প্রবাহিত হয়ে থাকে। সুতরাং, 100v বিভব-বিশিষ্ট ক্ষুদ্রতর পরিবাহীটির সহিত 150v বিভব-বিশিষ্ট বৃহত্তর পরিবাহীটিকে যুক্ত করা হলে ধনাত্মক তড়িৎ আধান বৃহত্তর বিভব-সম্পন্ন পরিবাহী থেকে ক্ষুদ্রতর বিভব সম্পন্ন পরিবাহীর দিকে প্রবাহিত হবে।

কিন্তু প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে, ক্ষুদ্রতর পরিবাহী থেকে বৃহত্তর পরিবাহীতে ধনাত্মক তড়িৎ আধান প্রবাহিত হতে গেলে নিম্নলিখিত ব্যবস্থা অবলম্বন করতে হবে।

মনে করা হ'ল, 100v বিভব-সম্পন্ন পরিবাহীটিকে 150v বিভব-সম্পন্ন পরিবাহীর মধ্যে স্থাপন করা হ'ল। এইবার উক্ত পরিবাহীদ্বয়কে একটি পরিবাহী দ্বারা যুক্ত করা হলে ধনাত্মক তড়িৎ-আধান ক্ষুদ্রতর পরিবাহী থেকে বৃহত্তর পরিবাহীর দিকে প্রবাহিত হবে।

মনে করা হ'ল, ক্ষুদ্রতর গোলাকার পরিবাহীর ব্যাসার্ধ $= r_1$ এবং বৃহত্তর গোলাকার পরিবাহীর ব্যাসার্ধ $= r_2$।

ক্ষুদ্রতর গোলাকার পরিবাহীটিকে বৃহত্তর গোলাকার পরিবাহীর মধ্যে স্থাপন করা হলে, বৃহত্তর গোলাকার পরিবাহীর বিভব $V_2$ = নিজস্ব আধানের দরুন বিভব + ক্ষুদ্রতর গোলাকার পরিবাহীর আধানের জন্য বিভব।

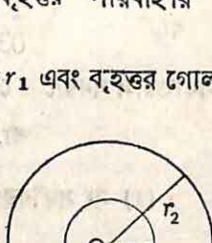


Fig. 136

$$= \left(150 + 100 \frac{r_1}{r_2}\right) \text{ volts} \qquad (1)$$

বৃহত্তর গোলাকার পরিবাহীর মধ্যে স্থাপিত অবস্থায় ক্ষুদ্রতর গোলাকার পরিবাহীটির বিভব $V_1$ = নিজস্ব আধানের জন্য বিভব + বৃহত্তর গোলাকার পরিবাহীর আধানের জন্য বিভব

$$= (100 + 150) \text{ volts} \qquad (2)$$

(1) নং এবং (2) নং সমীকরণ থেকে আমরা পাই,

$$V_1 - V_2 = 100 + 150 - 150 - 100\frac{r_1}{r_2}$$

$$= 100\left[1 - \frac{r_1}{r_2}\right] \quad (3)$$

এখন, $r_1 < r_2$ ব'লে $\frac{r_1}{r_2} < 1$.

$\therefore$ $V_1 - V_2 =$ একটি ধনাত্মক রাশি।

অর্থাৎ $V_1 > V_2$.

অতএব 100v বিভব-সম্পন্ন ক্ষুদ্রতর গোলাকার পরিবাহীটিকে 150v বিভব-সম্পন্ন বৃহত্তর পরিবাহীর মধ্যে স্থাপন ক'রে একটি পরিবাহী দ্বারা যুক্ত করা হলে ধনাত্মক আধান ক্ষুদ্রতর গোলাকার পরিবাহীর দিকে প্রবাহিত হবে।

108. একটি ইলেকট্রোফোরাস যন্ত্রের বিবরণ দাও। বিভিন্ন অংশের কার্যপ্রণালী ব্যাখ্যা কর। উৎপাদকে একবার আহিত করা হলে সংগ্রাহকে অসীম আধান সংগ্রহ করা যায়। ইহা কি শক্তির সংরক্ষণ সূত্রের বিরোধী? যুক্তি-সহাকারে ব্যাখ্যা কর।

[ Describe Electrophorous machine. Explain the action of different parts. Infinite amount of charge can be obtained by charging the cake of the machine once. Does this go against the principle conservation of energy? Explain your answer. ]

● **ইলেকট্রোফোরাস যন্ত্র ( Electrophorus Machine ) :**

এটি একটি অতি সরল আকৃতির যন্ত্র, যার সাহায্যে আবেশ প্রক্রিয়ায় অবিরত তড়িৎ পাওয়া যায় ( fig. 137 )। এর প্রধান অংশগুলি হ'ল :

(i) **আবরণী** ( cover ) : এটি একটি অপরিবাহী হাতল (H) যুক্ত বৃত্তাকার ধাতব পাত (A)।

(ii) **আধানদাতা** ( cake ) : এটি একটি অপরিবাহী পদার্থ দিয়ে তৈরী বৃত্তাকার পাত (B)। এর ব্যাস আবরণীর ব্যাসের চেয়ে সামান্য বড়। আধানদাতার উপরের তলটি অসমতল থাকে, যাতে এর উপর আবরণীটি স্থাপন করলে আবরণী আধানদাতাকে মাত্র কয়েকটি বিন্দুতে স্পর্শ করে। A এবং B-এর মধ্যে একটি সরু বায়ুস্তর থাকে। আধানদাতা সাধারণতঃ এবোনাইটের তৈরী হয়।

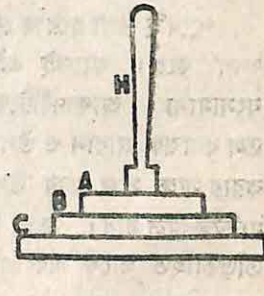



Fig. 137

(iii) **আসন** ( sole ) ঃ এটি আর একটি বৃত্তাকার ধাতব পাত (C), যার উপর আধানদাতাটি স্থাপন করা হয়। এর ব্যাস আধানদাতার ব্যাস থেকে কিছু বড়।

**কার্যপ্রণালী** ( Principle of Action )

এই যন্ত্র নিয়ে কাজ শুরু করার আগে এর তিনটি অংশ ভালো ক'রে রোদে শুকিয়ে নেওয়া হয়। এরপর আধানদাতাকে ফ্লানেল দিয়ে ঘষে তাতে আধান উৎপাদন করা হয়। এখন আবরণী A-কে হাতল H-এর সাহায্য B-এর উপর মুহূর্তের জন্য রেখেই আস্তে আস্তে সরিয়ে নেওয়া হয়। এর ফলে, আধানটি তড়িতাহিত হয়।

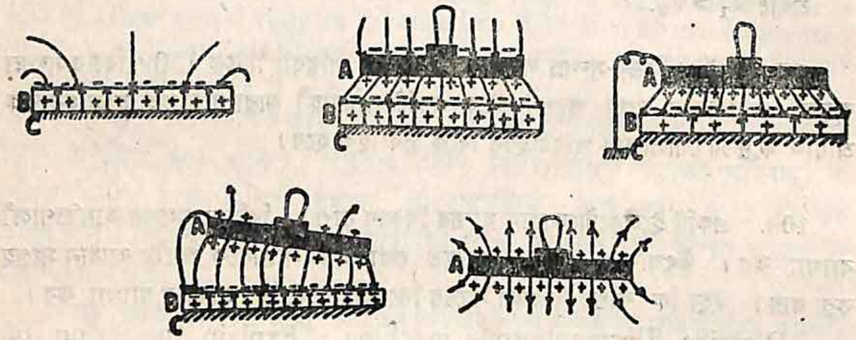


Fig. 138

আধানদাতাকে ফ্লানেল দিয়ে ঘষার ফলে এটি ঋণাত্মক আধান প্রাপ্ত হয় এবং আসন (C) ধনাত্মক আধানে আবিষ্ট হয়। যেহেতু আসনটি ভু-সংলগ্ন, সেহেতু এর ঋণাত্মক ( মুক্ত ) আধান মাটিতে চলে যায়। এর ফলে, আধানদাতা এবং আসন বিপরীত আধান প্রাপ্ত হয়ে পরস্পরকে আকর্ষণ ক'রে আবদ্ধ হয়ে থাকে।

পূর্বেই বলা হয়েছে যে, আবরণী (A), আধানদাতা (B) কে মাত্র কয়েকটি বিন্দুতে স্পর্শ করে। কাজেই এই সমস্ত বিন্দুর মধ্য দিয়ে B-থেকে যে আধান বেরোয়, তা যৎসামান্য। আবরণীটিকে তড়িতাহিত আধানদাতার উপর রাখলে আবরণীর নীচের তল ধনাত্মক আধান ও উপরের তল ঋণাত্মক আধানে আবিষ্ট হয় এবং আবরণী স্পর্শ করার সঙ্গে সঙ্গে তার উপরের তলের ঋণাত্মক আধান স্পর্শকারীর দেহের মধ্য দিয়ে মাটিতে চলে যায়। ফলে, আবরণীটিকে যখন সরানো হয়, তখন সেটি কেবল ধনাত্মক তড়িতাহিত থাকে এবং এই আবরণীটিকে ধনাত্মক আধানের উৎস হিসাবে প্রয়োজনীয় কাজে ব্যবহার করা হয়। পরীক্ষার বিভিন্ন অংশগুলি চিত্রে (fig. 138 ) দেখানো হয়েছে। আবরণীকে ঋণাত্মক আধানের উৎস হিসাবে পেতে হলে আধানদাতাকে ধনাত্মক তড়িতাহিত ক'রে কাজ শুরু করতে হবে।

● **ইলেক্‌ট্রোফোরাস এবং শক্তির সংরক্ষণ নীতি ঃ**

ইলেকট্রোফোরাস যন্ত্রের কার্যপ্রণালী থেকে দেখা যায় যে, উৎপাদককে ( cake ) একবার আহিত করা হলে সংগ্রাহকে ( cover ) বারবার আধান সংগ্রহ করা যায়। ইহার জন্য নূতন ক'রে উৎপাদককে আহিত করার প্রয়োজন হয় না। এখানে আপাত-দৃষ্টিতে মনে হতে পারে যে, শক্তির সংরক্ষণ-নীতি লঙ্ঘন ক'রে তড়িৎশক্তি সৃষ্টি হচ্ছে। কিন্তু প্রকৃতপক্ষে তাহা নহে, সংগ্রাহক এবং উৎপাদক—সর্বদা বিপরীত তড়িৎ দ্বারা আকর্ষিত হয় এবং এই আকর্ষণের বিরুদ্ধে সংগ্রাহককে সরাইয়া লওয়া হয়। ইহার জন্য কিছু কায়িক শক্তির প্রয়োজন হয়। এই কায়িক-শক্তি হ'ল যন্ত্রের তড়িৎ-শক্তির উৎস। সুতরাং, ইলেকট্রোফোরাস যন্ত্র থেকে বারবার আধান সংগ্রহের কালে শক্তির সংরক্ষণ সূত্র লঙ্ঘিত হয় না।

# চল তড়িৎ-বিজ্ঞান
## [ Current Electricity ]

109. তড়িৎ-চালক বল এবং বিভব-পার্থক্যের মধ্যে পার্থক্য কি? কোষের সাইজের উপর কোষের তড়িৎ-চালক বল নির্ভর করে কি? ভোল্টমিটারের সাহায্যে একটি কোষের তড়িৎ-চালক বলের প্রকৃত মান পাওয়া যায় কি ' একটি ভোল্টমিটারের সাহায্যে কি পাওয়া যায়?

[Distinguish between e.m.f. and potential difference. Does the e. m. f of a cell depend on its size ? Can you obtain exact value of e. m. f of a cell with the help of a voltmeter ? What do you obtain with the help of a voltmeter ? ]

● **চড়িৎ-চালক বল এবং বিভব-পার্থক্যের মধ্যে পার্থক্য ঃ**

| তড়িৎ চালক বল | বিভব-পার্থক্য |
|---|---|
| 1. কোন একক আধানকে কোষ-সংলগ্ন একটি পূর্ণ বর্তনীর মধ্যে একবার ঘুরিয়ে আনতে যে পরিমাণ কাজ করা হয়ে থাকে, তাকে তড়িচ্চালক বলা হয়। একে E দ্বারা সূচিত করা হয়। | 1. নিম্ন বিভব বিন্দু থেকে উচ্চ বিভব বিন্দুতে এক একক আধান নিয়ে যেতে যে পরিমাণ কাজ করতে হয়, সেই পরিমাণ কাজকে উক্ত বিন্দুদ্বয়ের বিভব প্রভেদ বলা হয়। একে V দ্বারা সূচিত করা হয়। |
| 2. তড়িৎ-চালক ব ল হল কারণ। | 2. বিভব-পার্থক্য হ'ল ফল। |
| 3. তড়িৎ-চালক বলের একটি নির্দিষ্ট অভিমুখ থাকে। | 3. বিভব-পার্থক্যের কোন অভিমুখ থাকে না। |
| 4. তড়িৎ-চালক বল হ'ল প্রত্যাবর্তক প্রক্রিয়া। | 4. বিভব-পার্থক্য হ'ল অপ্রত্যাবর্তক প্রক্রিয়া। |
| 5. বর্তনীর প্রবাহ-উৎসে তড়িৎ-চালক বল হ ল সীমাবদ্ধ। | 5. বিভব-পার্থক্য বর্তনীর বিভিন্ন অংশে হতে পারে। |
| 6. ইহা বর্তনীর রোধের উপর নির্ভরশীল নহে। | 6. ইহা বর্তনীর দুই বিন্দুর মধ্যে বিভব-পার্থক্য—ঐ অংশের রোধের উপর নির্ভরশীল। |
| 7. তড়িচ্চালক বলকে নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায় ঃ $E = CR + Cr$. যেখানে C → তড়িৎপ্রবাহ, R → রোধ, $r$ → কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ। | 7. বিভব-পার্থক্য নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায় ঃ $V = RC$. |

তড়িৎকোষের সাইজের উপর তড়িচ্চালক বল নির্ভর করে না। তড়িচ্চালক বল কোষের উপাদানের উপর নির্ভরশীল।

ভোল্টমিটারের সাহায্যে একটি তড়িৎকোষের তড়িচ্চালক বলের প্রকৃত মান পাওয়া যায় না।

আমরা জানি যে, কোন কোষের তড়িৎ-চালক বল (E) নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়

$$E = CR + Cr = V + Cr.$$

যেখানে V → বিভব-পার্থক্য।

ভোল্টমিটার যন্ত্র দ্বারা তড়িৎ-বর্তনীর যে-কোন দুটি বিন্দুর মধ্যে বিভব-পার্থক্য পরিমাপ করা যায়।

সুতরাং, এই যন্ত্র দ্বারা তড়িৎকোষের তড়িৎ-চালক বল সঠিকভাবে নির্ধারণ করা যায় না।

ভোল্টমিটারের সাহায্যে তড়িৎ-বর্তনীর যে-কোন দুটি বিন্দুর মধ্যে বিভব-পার্থক্য পরিমাপ করা যায়।

**110.** একটি ড্যানিয়েল কোষের বর্ণনা এবং উহার কার্যপ্রণালী বিবৃত কর। ছদন এবং স্থানীয় ক্রিয়া এই কোষে কিভাবে অপসারণ করা যায়, তাহা বিবৃত কর। এই কোষের মূল অসুবিধা কি?

[Describe and explain the principle of action of Daniell's cell. How are polarization and local action removed in this cell? What is the main difficulty of this cell?]

● **ড্যানিয়েল কোষ ( Daniell Cell ) :**

এই কোষে একটি তামার পাত্র থাকে, যা ধনাত্মক মেরুর কাজ করে। পাত্রের মধ্যে একটি সচ্ছিদ্র চীনামাটির পাত্র প্রবেশ করানো হয়। সচ্ছিদ্র পাত্রের ভিতর একটি পারদ-প্রলেপযুক্ত দস্তার দণ্ড খাড়াভাবে প্রবেশ করানো হয়। সচ্ছিদ্র পাত্রটির চারভাগের তিনভাগ অংশে লঘু সালফিউরিক অ্যাসিড ($H_2SO_4$) নেওয়া হয়। এতে দস্তার দণ্ডটির বেশীর ভাগ অংশ ডুবে থাকে ( fig. 139 )। তামার পাত্রের মধ্যে ছদন-নিবারক হিসাবে কপার সালফেট ($CuSO_4$)-এর তরল দ্রবণ নেওয়া হয়। তামার পাত্রের উপরে ছিদ্রযুক্ত দুটি তাক থাকে। দানা-সম্বলিত কপার সালফেট তাক-দুটিতে থাকে। তাক-দুটিতে $CuSO_4$-র পরিমাণ এমন নেওয়া হয়, যাতে দানাগুলি তরল $CuSO_4$-র সংস্পর্শে থেকে দ্রবণকে সর্বদা সংপৃক্ত ( saturated ) ক'রে রাখতে পারে। দস্তার দণ্ডটি ঋণাত্মক মেরুর কাজ করে।

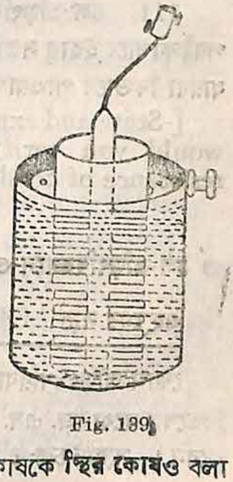


Fig. 139

**ক্রিয়া :** এই কোষে প্রবাহ অনেকক্ষণ থাকে ব'লে, এই কোষকে **স্থির কোষও** বলা

হয়। পরিবাহী তার দ্বারা দস্তা এবং তামার সংযোগ স্থাপন করা হলে, তড়িৎ-প্রবাহ কোষের ভিতরে দস্তা থেকে তামায় এবং বাইরে তামা থেকে দস্তার দণ্ডের দিকে হয়।

তড়িৎ-প্রবাহ চলবার সময় $H_2SO_4$ ও দস্তার ভিতর রাসায়নিক ক্রিয়া সংঘটিত হয় এবং ধনাত্মক $H^+$ আয়নের সৃষ্টি হয়। দস্তা ঋণ-তড়িতাহিত হয়।

**সমীকরণ ঃ** $Zn^{++}+H_2SO_4=ZnSO_4+(H^++H^+)$

এই ধনাত্মক $H^+$ আয়নগুলি সচ্ছিদ্র চীনামাটির পাত্রের মধ্য দিয়ে তামার পাত্রে রাখা কপার সালফেট ($CuSO_4$) দ্রবণের ভিতর চলে আসে এবং উভয়ের রাসায়নিক ক্রিয়ায় তামার আয়ন ($Cu^{++}$) উৎপন্ন হয়। এটি নীচে লেখা সমীকরণ অনুযায়ী হয় ঃ

$$CuSO_4+(H^++H^+)=H_2SO_4+Cu^{++}$$

এই $Cu^{++}$ আয়নগুলি তামার পাত্রের কাছে গিয়ে তামার পাত্র থেকে ইলেকট্রন গ্রহণ করে এবং তড়িৎহীন হয়ে তামার পাত্রের গায়ে জমা হয়। তামার পাত্র ইলেকট্রন ত্যাগ করায় ধন-তড়িতাহিত হয়। এই কোষে দস্তা এবং তামার মধ্যে বিভব-বৈষম্য 1·08 ভোল্ট হয়; অর্থাৎ, এর তড়িচ্চালক বলের মান 1·08 ভোল্ট। তামার পাত্রের গায়ে $H_2$-র অণু জমতে না পারায়, এটি সম্পূর্ণরূপে ছদনমুক্ত হয়। এর জন্য তড়িৎ-প্রবাহ বেশীক্ষণ স্থায়ী হয়।

কিন্তু এই কোষের **একমাত্র** অসুবিধা হ'ল—এটি যখন ব্যবহৃত হয় না, তখন কপার সালফেটের অণু সচ্ছিদ্র চীনামাটির পাত্রের ভিতর দিয়ে দস্তার সঙ্গে রাসায়নিক ক্রিয়া ঘটায়। এইজন্য এই ক্রিয়া যাতে ঘটতে না পারে, তার জন্য উপযুক্ত ব্যবস্থা অবলম্বন করতে হয়।

**ব্যবহার ঃ** এই কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ অনেক বেশী ব'লে, যেখানে বেশী তড়িৎ-প্রবাহ প্রয়োজন, সেখানে এটি ব্যবহার করা যায় না। তবে যে সব কাজে **বেশীক্ষণ কিন্তু কম মানের** তড়িৎ-প্রবাহের প্রয়োজন হয়, সেইসব জায়গায় ড্যানিয়েল কোষ ব্যবহৃত হয়।

**111.** চল-তড়িৎবিজ্ঞানে ওহ্‌ম সূত্র বিবৃত এবং ব্যাখ্যা কর। কিভাবে পরীক্ষাগারে ইহার সত্যতা প্রমাণ করা যায়? এই সূত্র থেকে পরিবাহীর রোধের ধারণা কিভাবে পাওয়া যায়, তাহা বিবৃত কর।

[ State and explain Ohm's law in current electricity and how would you verify it experimentally? How is the concept of resistance of conductor obtained from this law? ]

● **চল-তড়িৎবিজ্ঞানে ওহ্‌ম সূত্রের বিবৃতি এবং ব্যাখ্যা ঃ**

**ওহ্‌মের সূত্র** ( Ohm's law )

কোন তড়িৎ-পরিবাহীর (conductor) মধ্য দিয়ে তড়িৎ-প্রবাহ ও এর প্রান্তদ্বয়ের বিভবের মধ্যে জি. এস. ওহ্‌ম ( G. S. Ohm ) একটি সূত্র 1826 খ্রীষ্টাব্দে আবিষ্কার করেন। সূত্রটি চল-তড়িতের মূল সূত্র।

**সূত্র** ঃ কোন পরিবাহীর মধ্য দিয়ে তড়িৎ-প্রবাহ হলে, যদি এর উষ্ণতা এবং অন্যান্য ভৌত গুণাবলী অপরিবর্তিত থাকে, তবে তড়িৎ-প্রবাহের মাত্রা ঐ পরিবাহীর দুই প্রান্তের বিভব-বৈষম্যের সঙ্গে সমানুপাতিক হয়ে থাকে।

ধরা যাক, উষ্ণতা এবং অন্যান্য ভৌত অবস্থা অপরিবর্তিত আছে, এরকম কোন পরিবাহীর মধ্যে C পরিমাণ তড়িৎ-প্রবাহ হচ্ছে এবং এর দুই প্রান্তের বিভব যথাক্রমে $V_A$ ও $V_B$ (fig. 140)। ওহ্মের সূত্রানুযায়ী,

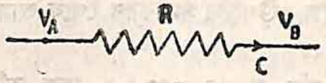


Fig. 140

$$V_A - V_B \propto C$$

বা, $V_A - V_B = CR$. [R একটি ধ্রুবক]

এই R-কে রোধ (resistance) বলা হয়। $(V_A - V_B)$-কে E লিখলে, $E = CR$.

**ওহম্-এর সূত্রের পরীক্ষা** (Verification of Ohm's law) ঃ

**প্রথম পদ্ধতি ঃ ট্যানজেণ্ট গ্যালভানোমিটারের সাহায্যে** (by tangent galvanometer) ঃ পাশের চিত্রানুযায়ী ( fig. 141 ) একটি ব্যাটারী (E), একটি কমুটেটর (C), একটি পরিবর্তনশীল রোধ (R) ও একটি ট্যানজেণ্ট গ্যালভানোমিটার (T.G.) সংযুক্ত করা হ'ল। E তড়িৎ-কোষ বা ব্যাটারী থেকে পূর্ণ বর্তনীর মধ্য দিয়ে তড়িৎ-প্রবাহ হবে। কমুটেটরের বিপরীত দিক দুটি ব্যবহার করলে, তড়িৎ-প্রবাহের দিক পরিবর্তন হবে। R-রোধের মান বদলালে বর্তনীর ( circuit ) মধ্যে প্রবাহিত তড়িতের মাত্রা বদলিয়ে যাবে।

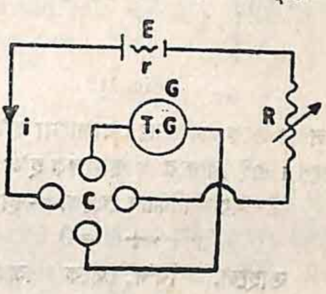


Fig. 141

ধরা যাক, তড়িৎ-কোষের ও গ্যালভানোমিটারের অভ্যন্তরীণ রোধ যথাক্রমে $r$ ও G ; পরিবর্তনশীল রোধের মান R, তড়িৎ-কোষের তড়িচ্চালক বল E। তাহলে, ওহ্মের সূত্র অনুযায়ী, $E = (R + r + G)\, i$.

আবার, ট্যানজেণ্ট গ্যালভানোমিটারের সূত্র থেকে $i = 10K \tan\theta$

$\therefore$ $10K \tan\theta\,(R + r + G) = E =$ ধ্রুবক।

বা, $(R + r + G)\tan\theta =$ ধ্রুবক। [ $\because$ নির্দিষ্ট স্থানে ও একটি নির্দিষ্ট অবস্থায় ব্যবহৃত হলে K ধ্রুবক হয়। ]

আমরা যদি পরীক্ষার সাহায্যে প্রমাণ করতে পারি যে, বিভিন্ন রোধে $\theta$-র যা যা মান পাওয়া যায়, সেগুলি এমন হয় যে, $(R + r + G)\tan\theta =$ ধ্রুবক, (1)
তাহলে ওহ্মের সূত্রটি পরীক্ষিত হবে।

ধরা যাক, $R_1$, $R_2$, $R_3$ ইত্যাদি রোধক ব্যবহার করার ফলে বর্তনীর মধ্যে তড়িৎ-মাত্রার প্রবাহ এমন হতে লাগলো যে গ্যালভানোমিটারের কাঁটা যথাক্রমে $\theta_1$, $\theta_2$, $\theta_3$ ইত্যাদি পরিমাণ ঘুরে গেল। আমরা দেখবো যে,

$(R_1+r+G)\tan\theta_1=(R_2+r+G)\tan\theta_2=(R_3+r+G)\tan\theta_3$ ইত্যাদি।

অর্থাৎ ওহ্‌মের সূত্র প্রমাণিত হ'ল।

যেহেতু, $(R+r+G)\tan\theta=$ ধ্রুবক ;

অতএব, $(R+r+G)=m\cot\theta$ (2) [$m=$ ধ্রুবক]

এখন, $r+G=c$, $\cot\theta=x$ ও $R=y$ ধরলে, উপরের সমীকরণ থেকে আমরা পাই, $y+c=mx$, বা, $y=mx-c$.

এটি একটি সরলরেখায় সমীকরণ। সেজন্য যদি R ও cot θ-র লেখ আঁকা যায়, তাহলে সেটি প্রকৃতিতে সরলরৈখিক হবে। সেজন্য ওহ্‌ম সূত্র পরীক্ষা করতে গেলে, আমরা R ও cot θ-র লেখ এঁকে প্রমাণ করতে পারি। R ও cot θ-র লেখ যদি সরলরেখা হয়, তাহলে শুধু ওহ্‌ম সূত্রের পরীক্ষাই নয়, লেখ থেকে বর্তনীর মোট অভ্যন্তরীণ রোধও নির্ণয় করা যেতে পারে। ধরা যাক, পাশের চিত্রে (fig. 142) ছেদযুক্ত রেখাটি cot θ এবং R-র লেখ। একে এমনভাবে বাড়ানো হ'ল, যাতে এটি R অক্ষকে কোন একটি বিন্দুতে ছেদ করে। এই বিন্দুর x স্থানাঙ্ক হ'ল 0 (শূন্য)।

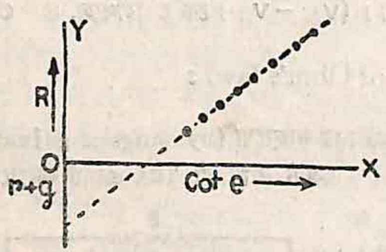


Fig. 142

(2) নং সমীকরণ থেকে, y-স্থানাঙ্ক নীচে লেখা সমীকরণ থেকে পাওয়া যাবে :

$$y+r+G=0 \qquad \text{বা,} \qquad y=-(r+G)$$

তাহলে, O বিন্দু থেকে R-অক্ষ এবং লেখটি যেখানে ছেদ করেছে, এই দৈর্ঘ্য মোট অভ্যন্তরীণ রোধকে পরিমাপ করছে। সাধারণতঃ বর্তনীর অন্যান্য রোধসমূহ ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারের অভ্যন্তরীণ রোধের তুলনায় অল্প হয়, সেজন্য একে প্রায় **গ্যালভানোমিটারের রোধ** বলা যেতে পারে।

**দ্বিতীয় পদ্ধতি : অ্যামমিটার ও ভোল্টমিটারের সাহায্যে** (by ammeter and voltmeter) : নীচের চিত্র অনুযায়ী (fig. 143) একটি তড়িৎ-কোষ (E), একটি অ্যামমিটার (A), একটি স্থিরমান রোধ (R), একটি পরিবর্তনশীল রোধ ($R_h$) একটি চাবি ও একটি ভোল্টমিটার (V) সংযুক্ত করা হ'ল। $R_h$-এর বিভিন্ন মানে বর্তনীর মধ্য দিয়ে প্রবাহিত তড়িৎ-মাত্রা বিভিন্ন হবে। ফলে, R-এর দুই প্রান্তে যে বিভব-বৈষম্য হবে, সেটি বদলিয়ে যাবে।

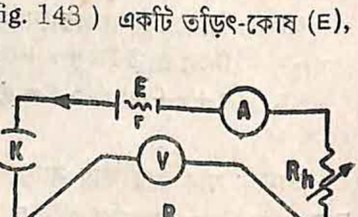


Fig. 143

ধরা যাক, $R_h$-এর বিভিন্ন অবস্থানে বর্তনীর মধ্যে তড়িৎমাত্রা $i_1, i_2, i_3, \cdots$ ইত্যাদি এবং R রোধকের দুই প্রান্তে তখন বিভব-বৈষম্য যথাক্রমে $V_1, V_2, V_3, \ldots$ ইত্যাদি হ'ল। দেখা যাবে যে,

$$\frac{V_1}{i_1}=\frac{V_2}{i_2}=\frac{V_3}{i_3}=\cdots=R \text{ অর্থাৎ } V\propto i$$

অতএব, ওহ্মের সূত্র প্রমাণিত হ'ল।

আমরা জানি যে, কোন্ ধাতব পরিবাহীর ক্ষেত্রে তড়িৎপ্রবাহ উহার দুই প্রান্তের বিভব-পার্থক্যের সমানুপাতিক হয়। অর্থাৎ, একটি নির্দিষ্ট ভৌত অবস্থায় একটি পরিবাহীর একটি নির্দিষ্ট রোধ থাকে। উক্ত রোধ পরিবাহীর দুই প্রান্তের বিভব-পার্থক্যের উপর নির্ভরশীল নহে।

● **ইলেকট্রন তত্ত্বের সাহায্যে রোধের ব্যাখ্যা ঃ**

ইলেকট্রন তত্ত্ব অনুসারে একটি পরিবাহীতে মুক্ত ইলেকট্রন থাকে এবং এই ইলেকট্রনগুলি মুক্ত গ্যাস-অনুগুলির মতো বিচরণ করে। যখন একটি বিভব-পার্থক্য একটি পরিবাহী বরাবর প্রযুক্ত করা হয়, তখন এই মুক্ত ইলেকট্রনগুলি একটি অনুপ্রবাহ বেগ ( drift velocity ) নিয়ে চলে এবং একটি তড়িৎ প্রবাহের সৃষ্টি হয়ে থাকে।

মনে করিলাম, $l$-দৈর্ঘ্য-বিশিষ্ট কোন পরিবাহীর একক দৈর্ঘ্যে মুক্ত ইলেকট্রনের সংখ্যা $=N$, $V$ হ'ল পরিবাহী বরাবর প্রযুক্ত বিভব-পার্থক্য, $e$ হ'ল ইলেকট্রনের আধান এবং $m$ হ'ল ইলেকট্রনের ভর এবং $u$ হ'ল অনুপ্রবাহ বেগ ( drift velocity )।

অতএব, একক দৈর্ঘ্যে প্রযুক্ত তড়িৎ ক্ষেত্র

$$X=\frac{V}{l}.$$

এই তড়িৎ ক্ষেত্রের প্রভাবে ইলেকট্রনগুলি চলাচল করতে শুরু করবে এবং তারা পরিবাহীর মধ্যে সংঘাতের ফলে একটি রোধ সৃষ্টি করবে, যা অনুপ্রবাহ বেগের সমানুপাতিক। মনে করিলাম, ইহা $\beta u$। যেখানে $\beta=$একক অনুপ্রবাহ বেগে রোধ।

অতএব, তড়িৎক্ষেত্র $X$-এর দরুন $N$ ইলেকট্রনের উপর প্রযুক্ত বল $=N\times e$

$N$-ইলেকট্রনের উপর মন্দিত বল ( Retarding force ) $=N\beta u$.

এখন নিউটন-এর সনাতন বলবিদ্যার দ্বিতীয় গতিসূত্র অনুসারে,

$$\frac{d}{dt}(Nmu)=N\times e-N\beta u. \tag{1}$$

অতএব, তড়িৎ প্রবাহ $i=Neu=\frac{e}{m}.\,(Nmu)$

স্থির অবস্থায়

$$\frac{di}{dt}=\frac{d}{dt}\left(\frac{e}{m}.\ Nmu\right)$$

$$=\frac{e}{m}\frac{d}{dt}\,(Nmu)=0.$$

অতএব (1) নং সমীকরণ থেকে আমরা পাই

$$\frac{e}{m}(N \times e - N\beta u) = 0.$$

$$\text{বা,} \quad X = \frac{\beta u}{e} = \frac{\beta Neu}{Ne^2} = \frac{\beta i}{Ne^2}$$

$$\text{বা,} \quad \frac{V}{l} = \frac{\beta i}{Ne^2} \quad \text{বা,} \quad i = \frac{V}{\dfrac{\beta l}{Ne^2}} \qquad (2)$$

একটি নির্দিষ্ট পরিবাহীর ক্ষেত্রে $\frac{\beta l}{Ne^2}$

এই রাশিটি ধ্রুবক।

অতএব $i = \frac{V}{R}$, যেখানে $R = \frac{\beta l}{Ne^2}$.

এটিই হ'ল ইলেকট্রন তত্ত্ব অনুসারে রোধের ব্যাখ্যা।

**112.** রোধের সমান্তরাল সমবায়ের সূত্রটি প্রতিষ্ঠা কর। দেখাও যে, তুল্যাঙ্ক রোধ সমবায়ের ক্ষুদ্রতম রোধের চেয়েও কম হবে।

[Obtain the law of parallel combination of resistances. Hence show that the equivalent resistance is less than the smallest resistance of the combination.]

● **সমান্তরাল সংযোগ (Parallel Connection) :**

$r_1, r_2$ ও $r_3$—তিনটি রোধককে এমনভাবে যুক্ত করা হ'ল, যাতে প্রত্যেকের এক প্রান্ত A বিন্দুতে ও অপর প্রান্তসমূহ B বিন্দুতে যুক্ত হ'ল। কোন তড়িৎ-কোষ দ্বারা যদি A থেকে B অভিমুখে C পরিমাণ তড়িৎ-প্রবাহ পাঠানো হয়, তবে A বিন্দুতে এটি তিন ভাগে বিভক্ত হবে এবং B বিন্দুতে গিয়ে আবার মিলিত হবে (fig 144)। এরকমভাবে রোধকগুলিকে সাজানো হলে বলা হয়, এরা **সমান্তরাল সজ্জায়** আছে। সমান্তরাল সজ্জায় **প্রান্তদ্বয়ের বিভব-বৈষম্য** একই থাকে, কিন্তু বিভিন্ন রোধকের মধ্য দিয়ে **তড়িৎ-মাত্রা** বিভিন্ন হয়। ধরা যাক, C তড়িৎ-মাত্রা $r_1$, $r_2$ ও $r_3$-তে যথাক্রমে $C_1$, $C_2$ ও $C_3$ ভাগে বিভক্ত হ'ল এবং A ও B বিন্দুদ্বয়ের বিভব-বৈষম্য যথাক্রমে $V_A$ ও $V_B$। A থেকে B অভিমুখে তড়িৎ প্রবাহিত হচ্ছে ব'লে $V_A > V_B$। ওহ্‌মের সূত্র প্রয়োগ ক'রে প্রত্যেক রোধকের ক্ষেত্রে,'

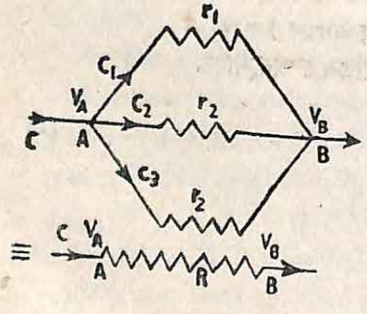



Fig. 144

$$C_1=\frac{V_A-V_B}{r_1},\ C_2=\frac{V_A-V_B}{r_2},\ C_3=\frac{V_A-V_B}{r_3}.$$

আবার, $C=C_1+C_2+C_3$ ব'লে, $C_1$, $C_2$ ও $C_3$-এর মান বসিয়ে পাওয়া যায় ঃ

$$C=(V_A-V_B)\left[\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}+\frac{1}{r_3}\right] \qquad (1)$$

এখন, যদি A ও B বিন্দুদ্বয়ের মধ্যে অবস্থিত $r_1$, $r_2$ ও $r_3$ রোধক তুলে এদের পরিবর্তে এমন একটি রোধক R বসানো হয়, যার ফলে প্রধান তড়িৎ-মাত্রা (C) ও বিন্দুদ্বয়ের মধ্যে বিভব-বৈষম্য অপরিবর্তিত থাকে, তবে R-কে ঐ তিনটি রোধকের তুল্যাঙ্ক রোধ বলা হবে। সেক্ষেত্রে, ওহ্মের সূত্র প্রয়োগ ক'রে পাওয়া যায় ঃ

$$C=\frac{V_A-V_B}{R} \qquad (2)$$

6নং ও 7নং সমীকরণ থেকে, $\frac{V_A-V_B}{R}=(V_A-V_B)\left[\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}+\frac{1}{r_3}\right]$

বা, $\frac{1}{R}=\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}+\frac{1}{r_3}$ (3)

যেহেতু $G=\frac{1}{R}$ সেহেতু, $G=g_1+g_2+g_3$ (4)

$g_1$, $g_2$, ও $g_3$ হ'ল যথাক্রমে $r_1$, $r_2$ ও $r_3$ রোধকের (resistor) পরিবাহিতা (conductance)।

তাহলে 4নং সমীকরণ থেকে দেখা যাচ্ছে যে, **সমান্তরাল সজ্জায় মোট পরিবাহিতা প্রত্যেকটি রোধকের পরিবাহিতার যোগফলের সমান হয়।** অর্থাৎ, **সমান্তরাল সজ্জায় তুল্যাঙ্ক রোধের মান কমে যাবে।**

ধরা যাক, 2 Ω ও 3 Ω মানের দুটি রোধককে সমান্তরালভাবে সংযুক্ত করা হ'ল। এক্ষেত্রে, তুল্যাঙ্ক রোধ R হ'ল,

$$\frac{1}{R}=\frac{1}{2}+\frac{1}{3} \qquad \text{বা,} \qquad R=\frac{6}{5}=1{\cdot}2\Omega.$$

অতএব, দুই বা ততোধিক রোধক যদি সমান্তরালভাবে যোগ করা হয়, তবে এদের তুল্যাঙ্ক রোধ ক্ষুদ্রতর রোধকের চেয়েও কম হবে।

গাণিতিক পদ্ধতিতে ইহার প্রমাণ নীচে দেওয়া হ'ল ঃ—

মনে করা হ'ল $r_1, r_2, \cdots r_n$ সংখ্যক রোধ সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত আছে। $r_1$ হ'ল ক্ষুদ্রতর রোধ।

সমান্তরাল সমবায়ের জন্য তুল্যাঙ্ক রোধ

$$\frac{1}{R}=\frac{1}{r_1}+\frac{1}{r_2}+\cdots+\frac{1}{r_n}.$$

বা, $\frac{1}{R}=\frac{1}{r_1}+x$ যেখানে $x=\frac{1}{r_2}+\cdots\cdots+\frac{1}{r_n}.$

অতএব, $\frac{1}{R}>\frac{1}{r_1}$

$x$ ধনাত্মক। $\therefore\ r_1>R.$

অতএব, দুই ততোধিক রোধক যদি সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করা হয়, তবে এদের তুল্যাঙ্ক রোধ ক্ষুদ্রতর রোধকের চেয়েও কম হবে।

113. দুটি কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ $r_1$ এবং $r_2$। প্রত্যেকটি কোষের তড়িৎ-চালকবল E এবং ইহাদিগকে শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত করা হইল। কোষ সমবায়কে এমনভাবে একটি রোধক (R)-এর সহিত যুক্ত করা হ'ল, যাতে প্রথম কোষের প্রান্ত বরাবর বিভব-পার্থক্য শূন্য হয়। R এর মান কত ?

ভিন্ন ভিন্ন তড়িচ্চালক বল বিশিষ্ট দুটি কোষকে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করা হলে কি ক্ষতি হবে ?

[ Two cells of internal resistances $r_1$ and $r_2$ and each of e. m. f. E. are connected in series. The combined battery is connected to a resistance (R) such that the p. d. across the terminals of the 1st cell is zero. Calculate the value of R.

Would be the harm if you connect two cells of different electromotive force in parallel ? ]

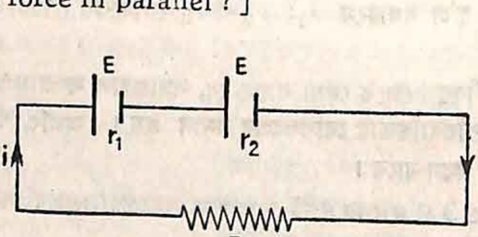



Fig. 145

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে,

বর্তনীর তড়িৎ প্রবাহ $i=\frac{2E}{R+r_1+r_2}.$

এখন প্রথম কোষের অভ্যন্তরীণ বিভব পার্থক্য $=i\times r_1$

$$=\frac{2E}{R+r_1+r_2}\times r_1$$

যেহেতু প্রথম কোষের উপর বিভব-পার্থক্য শূন্য হতে গেলে, অভ্যন্তরীণ বিভব-পার্থক্য কোষের তড়িৎচালক বলের সমান হওয়া প্রয়োজন

সুতরাং, $\frac{2Er_1}{R+r_1+r_2}=E.$

বা, $R+r_1+r_2=2r_1$

বা, $R=r_1-r_2.$

কোন একটি কোষের তড়িচ্চালক বল অপর কোষের তড়িচ্চালক বল হইতে বেশী হলে এবং উহাদিগকে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করা হলে, সমগ্র ব্যাটারীর মধ্য দিয়ে তড়িৎ প্রবাহ যাবে। এর ফলে কোষগুলি শীঘ্রই নিঃশেষ হয়ে যেতে পারে।

**114.** একটি স্থির তড়িচ্চালক বল দ্বারা তড়িৎ একটি পরিবাহী এবং একটি তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের মধ্য দিয়ে দুটি বর্তনীতে পাঠানো হচ্ছে। যদি পরিবাহী এবং তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের তাপমাত্রা বৃদ্ধি করা যায়, তবে বর্তনীদ্বয়ের মধ্যে তড়িৎ প্রবাহের ক্রিয়া কিরূপ হবে, তাহা ব্যাখ্যা কর।

[Current is maintained by constant e. m. f through a conductor and an electrolyte in two circuits. What would be the effect on currents in the two circuits if the temperature of the conductor and the electrolyte be increased? Explain your answer.]

আমরা জানি যে, ধাতব পরিবাহীর ক্ষেত্রে তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে সাথে রোধ বৃদ্ধি পায় এবং ইহা একটি স্থূল সূত্র মেনে চলে। সূত্রটি হ'ল নিম্নরূপ :

$R_t=R_0(1+\alpha t+\beta t^2+\gamma t^3+\delta t^4+\cdots)$

যেখানে $\alpha, \beta, \gamma, \delta \cdots$ ধ্রুবক। $R_0 \rightarrow 0°C$ তাপমাত্রায় রোধ এবং $R_t \rightarrow t°C$ তাপমাত্রায় রোধ। $t^2, t^3, t^4 \cdots$ এর মান ক্ষুদ্র ব'লে উপেক্ষা করা হলে

$$R_t=R_0(1+\alpha t)$$

ধাতব পরিবাহীর ক্ষেত্রে V – I লেখচিত্র নিচে দেওয়া হ'ল ( fig. 146 )। আবার তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পদার্থ-কে উত্তপ্ত করা হলে আমরা জানি যে, তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে সাথে রোধ হ্রাস পায়। পরপৃষ্ঠায় তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পদার্থের ক্ষেত্রে V-I লেখচিত্র দেওয়া হ'ল ( fig. 147 )।

ধাতব পদার্থের ক্ষেত্রে V-I লেখচিত্রটি সরলরৈখিক হয় এবং Ohm সূত্র মেনে চলে। কিন্তু তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পদার্থের V-I লেখচিত্রটি সরলরৈখিক হয় না এবং Ohm সূত্র মেনে চলে না। ধাতব পদার্থে মুক্ত ইলেকট্রন থাকে। এই মুক্ত ইলেকট্রন-

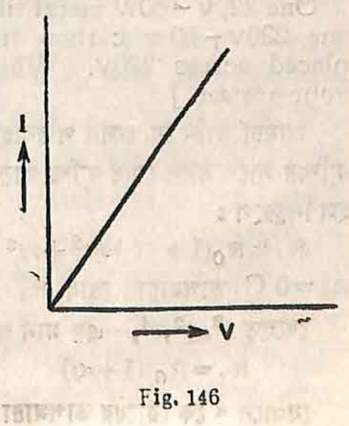



Fig. 146

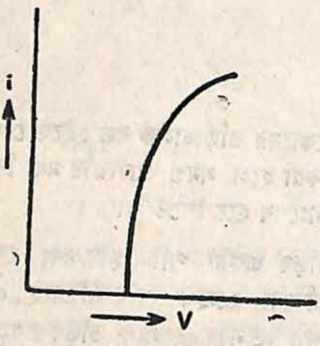


Fig. 147

গুলি পরিবাহীর মধ্যে অবাধে চলাচল করতে পারে। এখন একটি স্থির মানের তড়িৎচালক বল পরিবাহীর দুই প্রান্তে প্রযুক্ত করা হলে, এই মুক্ত ইলেকট্রনগুলি একপ্রান্ত থেকে অপর প্রান্তে যেতে পারে এবং চলাচলের সময় পরিবাহীর অণুগুলির সহিত সংঘর্ষ হয়ে থাকে। ইহাতে ইলেকট্রনের প্রবাহে বাধার সৃষ্টি হয়। আমরা জানি যে, পদার্থের অণুগুলি স্পন্দনশীল। সুতরাং, তাপমাত্রা বৃদ্ধি করা হলে অণুর স্পন্দন-বিস্তার বেশী হবে এবং অণুগুলির মধ্যে মধ্যবর্তী ব্যবধান কমে যাবে। ফলে, চলমান ইলেকট্রনগুলির সহিত এই স্পন্দনশীল অণুগুলির সংঘর্ষের সম্ভাব্যতা বেড়ে যাবে। তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে সাথে এই সংঘর্ষের হার বেড়ে যায় ব'লে পরিবাহীর রোধ বৃদ্ধি পায় এবং পরিবাহীর প্রবাহমাত্রা কমে যায়।

আবার, তাপমাত্রা বৃদ্ধির ফলে তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পদার্থের রোধ কমে যায়। তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে এই পদার্থের আয়নায়ন বেড়ে যায়, অর্থাৎ, তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পদার্থে পরিবাহী আধানের সংখ্যা বেড়ে যায়। ফলে, তড়িৎ-বিশ্লেষ্য পদার্থের রোধ হ্রাস পায় এবং প্রবাহমাত্রা বেড়ে যায়।

**115.** একটি ধাতব ফিলামেন্টের রোধ এবং একটি কার্বন ফিলামেন্টের রোধ তাপমাত্রার পরিবর্তনে কিরূপ পরিবর্তিত হয়, তাহা ব্যাখ্যা কর।

একটি 220v – 60w ধাতব ফিলামেন্ট বাতি শ্রেণী সমবায়ে 220v – 60w কার্বন ফিলামেন্ট বাতির সহিত যুক্ত করা হ'ল এবং সমবায়কে 220v বিভব-পার্থক্যে স্থাপিত করা হ'ল। কোন্ বাতিটি বেশী উজ্জ্বল দেখাবে ? যুক্তি সহযোগে ব্যাখ্যা কর।

[How do the resistances of metal filament and carbon filament change with the change of temperature ?

One 220v – 60w metal filament bulb is connected in series with one 220v – 60w carbon filament bulb and the combination is placed across 220v. Which bulb will glow more ? Explain your answer. ]

আমরা জানি যে, কোন পরিবাহীর রোধ তাপমাত্রার উপর নির্ভরশীল। তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে সাথে রোধ বৃদ্ধি পায় এবং ইহা একটি স্থূল সূত্র মেনে চলে। সূত্রটি হল নিম্নরূপ :

$R_t = R_0(1+\alpha t+\beta t^2+\gamma t^3+\delta t^4+\ldots\ldots)$ যেখানে $\alpha$, $\beta$, $\gamma$, $\delta$ ... ধ্রুবক।
$R_0 = 0°C$ তাপমাত্রায় রোধ, $R_t = t°C$ তাপমাত্রায় রোধ।

যেহেতু $t^2$, $t^3$, $t^4$,...এর মান ক্ষুদ্র ব'লে উপেক্ষণীয়।

$$R_t = R_0\,(1+\alpha t)$$

যেখানে $\alpha$ কে রোধের **তাপমাত্রা গুণাঙ্ক** ব'লে ধাতব ফিলামেন্টের রোধ তাপমাত্রা

বৃদ্ধির সাথে সাথে বৃদ্ধি পায়। এইক্ষেত্রে রোধের তাপমাত্রা-গুণাঙ্ক ($\alpha$) ধনাত্মক হয়।

আবার, কার্বন ফিলামেণ্টের রোধ তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে সাথে হ্রাস পায়। এইক্ষেত্রে রোধের তাপমাত্রা-গুণাঙ্ক ($\alpha$) ঋণাত্মক হয়।

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে 220v – 60w কার্বন ফিলামেণ্ট বাতিটি অপেক্ষাকৃত উজ্জ্বলভাবে জ্বলবে।

ধাতব ফিলামেণ্টের রোধ তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে সাথে বৃদ্ধি পায় এবং এর তাপমাত্রা-গুণাঙ্ক ($\alpha$) এর মান ধনাত্মক হয়; কিন্তু, কার্বন ফিলামেণ্টের রোধ তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে সাথে হ্রাস পায় এবং এর তাপমাত্রা-গুণাঙ্ক ($\alpha$) এর মান ঋণাত্মক হয়।

এখন উভয় বাতির প্রান্তে 220 Volt বিভব-পার্থক্য প্রযুক্ত করা হলে ভাস্বর অবস্থায় উভয় বাতির রোধ সমান হবে।

যখন উভয় বাতিকে শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত ক'রে 220 Volt বিভব-পার্থক্যের সহিত যুক্ত করা হবে তখন উভয় বাতির উজ্জ্বলতা উহাদের স্বাভাবিক উজ্জ্বলতা থেকে কিছু কম হবে। এইক্ষেত্রে উভয় বাতির ফিলামেণ্টের তাপমাত্রা স্বাভাবিক তাপমাত্রা অপেক্ষা কিছু কম হবে। কিন্তু 220 Volt বিভব-পার্থক্যের প্রয়োগে ভাস্বর অবস্থায় উভয় বাতির ফিলামেণ্টের রোধ সমান হয় ব'লে শ্রেণী সমবায়ের ক্ষেত্রে কার্বন ফিলামেণ্টের রোধ বেশী হবে। আবার শ্রেণী সমবায়ের ক্ষেত্রে উভয় বাতির মধ্য দিয়ে একই তড়িৎ প্রবাহ গেলে উদ্ভূত তাপের পরিমাণ কার্বন ফিলামেণ্ট বাতিতে বেশী হবে। সুতরাং, কার্বন ফিলামেণ্ট বাতিটি উজ্জ্বলভাবে জ্বলবে।

116. অজ্ঞাত রোধ নির্ণয় করবার জন্য হুইটস্টোন ব্রীজের নীতি ব্যাখ্যা কর। সাণ্ট বলিতে কি বুঝ? ইহার ব্যবহার কি?

[ Explain the principle of Wheatstone's bridge for the detemination of unknown resistance.
What do you mean by shunt. Give its use. ]

● **হুইটস্টোনের ব্রীজ নীতি ( Wheatst one Bridge Principle )**

সাধারণভাবে কোন অজ্ঞাত রোধের পরিমাপ করতে হলে এই নীতিই প্রয়োগ করা হয়। AB, BC, CD ও DA—এই চারিটি রোধক নিয়ে একটি বন্ধ বর্তনী তৈরি করা হয়। A এবং C বিন্দুদ্বয়ের মধ্যে একটি তড়িৎ-কোষ E যুক্ত করা হয়। B ও D বিন্দুদ্বয়ের মধ্যে একটি গ্যালভানোমিটার যোগ করা থাকে ( fig. 148 )। ধরা যাক, গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে **তড়িৎ-প্রবাহ হচ্ছে না**। আরো ধরা যাক, E থেকে $i$ তড়িৎ-প্রবাহ AB পথে $i_1$ এবং AD পথে $i_2$-তে বিভক্ত হয়ে আবার C বিন্দুতে মিলিত হয়ে $i$ তড়িৎ-প্রবাহ হয়। অর্থাৎ, $i = i_1 + i_2$। এখন চারটি রোধের মান কম-বেশী ক'রে এমন অবস্থায় আনা হ'ল, যখন গ্যালভানোমিটারে

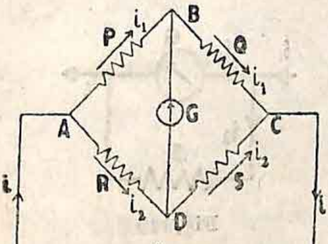


Fig. 148

এই তিনটি সূত্রকে একত্র করলে, $H \propto C^2Rt$.

এখানে $C^2Rt$ বলতে বোঝা যায়, তড়িৎ-প্রবাহের ফলে মোট কাজের পরিমাণ। H বলতে এখানে মোট কাজের জন্য উৎপন্ন তাপকেই বোঝাচ্ছে। অতএব,

$$C^2Rt \propto H \quad \text{বা,} \quad C^2Rt = JH \quad [\text{J একটি ধ্রুবক}] \quad (1)$$

C, R ও $t$ কে ব্যবহারিক এককে মাপলে,

$$H = \frac{C^2Rt}{J} \times 10^7 \text{ calorie হয়।} \quad (2)$$

এই ধ্রুবক 'J'-কে জুল তুল্যাঙ্ক (Joule's equivalent) বলা হয়। J-এর মান $4{\cdot}2 \times 10^7$ আর্গ প্রতি ক্যালরিতে।

যদি উৎপন্ন তাপ H-কে ক্যালরি, প্রবাহ-মাত্রা C-কে অ্যাম্পীয়ার, রোধ R-কে ওহ্‌ম এবং সময় $t$-কে সেকেণ্ডে প্রকাশ করা যায়, তাহলে,

$$H = \frac{C^2Rt}{4{\cdot}2} \text{ calorie} \quad (3)$$

$$\text{বা,} \quad H = 0{\cdot}24 \times C^2Rt \text{ calorie.}$$

আবার ওহ্‌মের সূত্র অনুযায়ী, $V = CR$ ব'লে, $H = 0{\cdot}24\ V.C.t$ calorie.

● **জুলের তুল্যাঙ্ক (Joule's Equivalent) ঃ**

আমরা জানি যে, কৃতকার্য উদ্ভূত তাপের সহিত সমানুপাতিক।

অর্থাৎ, $W \propto H$ বা, $W = JH$

বা, $J = \frac{W}{H}$.

অতএব, কৃতকার্য এবং উদ্ভূত তাপের অনুপাতকে **জুলের তুল্যাঙ্ক** বলে। একে J দ্বারা সূচিত করা হয়।

● **জুলের সূত্রসমূহের সত্যতা নিরূপণ (Verification of Joule's Laws) ঃ**

জুলের সূত্রসমূহের সত্যতা নিরূপণ করবার জন্য নীচের চিত্র অনুযায়ী (fig. 150) ব্যবস্থা অবলম্বন করতে হবে।

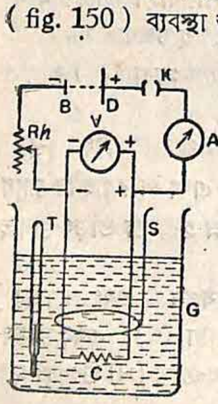



Fig. 150

BD ব্যাটারির সঙ্গে শ্রেণীবদ্ধভাবে একটি চাবি K, একটি প্রবাহ-মাত্রা মাপিবার যন্ত্র A, পরিবর্তনীয় রোধ $R_h$ এবং পরিবাহী কুণ্ডলী তার C যুক্ত থাকে। পরিবাহী কুণ্ডলীর তারের (C) সঙ্গে সমান্তরালভাবে একটি ভোল্টমিটার V লাগানো থাকে (fig. 150)। এখন সম্পূর্ণ যন্ত্রটিকে একটি আংশিক তরল-পূর্ণ ক্যালরিমিটার G-র ভিতর এমনভাবে ডোবানো হয়, যাতে পরিবাহী কুণ্ডলীকৃত তার C কেবল তরলে সম্পূর্ণভাবে ডুবে থাকে এবং বাকী যন্ত্র-সমূহ ক্যালরিমিটারের বাইরে থাকে। তরলের উষ্ণতা মাপবার জন্য ক্যালরিমিটারের সঙ্গে একটি উষ্ণতা-মাপক যন্ত্র T থাকে। তরলের উষ্ণতা যাতে সর্বত্র সমান হয়, তার

জন্য ক্যালরিমিটারের সঙ্গে একটি আলোড়ক S লাগানো থাকে। ক্যালরিমিটারের ও এর ভিতরের তরলের জলসম যদি W হয় এবং উষ্ণতা-বৃদ্ধি যদি T°C হয়, তাহলে ক্যালরিমিটার এবং তরল কর্তৃক গৃহীত তাপের পরিমাণ হবে H = WT.

**প্রথম সূত্রের সত্যতা নিরূপণ** (Verification of the first law) ঃ

পরিবর্তনীয় রোধ $R_h$-এর মান পরিবর্তন ক'রে $C_1$ প্রবাহমাত্রা কুণ্ডলীকৃত তারের মধ্য দিয়ে পরিচালিত করা হ'ল। প্রবাহ পাঠাবার ফলে তরলের উষ্ণতা বেড়ে যাবে। একটি নির্দিষ্ট সময়ের জন্য $C_1$ প্রবাহ-মাত্রা কুণ্ডলীকৃত তারের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত করানো হ'ল। থার্মোমিটারের সাহায্যে তরলের উষ্ণতা-বৃদ্ধি নির্ণয় করা হ'ল।

ধরা যাক, তরলের উষ্ণতা-বৃদ্ধি $T_1$°C। এবার প্রবাহ বন্ধ ক'রে তরলকে এর স্বাভাবিক তাপমাত্রায় ফিরিয়ে আনা হ'ল। আবার, পরিবর্তনীয় রোধের মান বদলিয়ে $C_2$ তড়িৎ মাত্রায় প্রবাহ কুণ্ডলী-কৃত তারের মধ্য দিয়ে আগেকার নির্দিষ্ট সময়ের জন্য করানো হ'ল। তরলের উষ্ণতা $T_2$°C বৃদ্ধি পেলে দেখা যাবে,

$$\frac{C_1^2}{C_2^2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{WT_1}{WT_2} = \frac{H_1}{H_2}. \qquad \text{[যখন R এবং } t \text{ স্থির]}$$

অর্থাৎ, উৎপন্ন তাপ প্রবাহমাত্রার বর্গের সমানুপাতিক। সুতরাং, জুলের প্রথম সূত্র প্রমাণিত হ'ল।

**দ্বিতীয় সূত্রের সত্যতা নিরূপণ** (Verification of the second law) ঃ

এক্ষেত্রে প্রবাহমাত্রার মান অপরিবর্তিত রাখতে হবে। নির্দিষ্ট পরিমাণ প্রবাহমাত্রা একই কুণ্ডলীতে পরিবাহী তারের মধ্য দিয়ে দুটি বিভিন্ন সময়ের জন্য (ধরা যাক, $t_1$ ও $t_2$) প্রবাহিত করানো হ'ল। তড়িৎ প্রবাহের ফলে ক্যালরিমিটারের তরলের উষ্ণতা-বৃদ্ধি যদি দুটি ভিন্ন সময়ের জন্য $T_1$°C ও $T_2$°C হয়, তাহলে পরীক্ষা ক'রে দেখা যাবে,

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{T_1}{T_2} = \frac{WT_1}{WT_2} = \frac{H_1}{H_2} \qquad \text{[যখন C এবং R স্থির]}$$

এটি দ্বারা জুলের দ্বিতীয় সূত্র প্রমাণিত হ'ল।

**তৃতীয় সূত্রের সত্যতা নিরূপণ** ( Verification of the third law ) ঃ

তৃতীয় সূত্রের, অর্থাৎ, রোধের সূত্র প্রমাণ করতে হলে, দুটি বিভিন্ন রোধ-বিশিষ্ট পরিবাহী তারের কুণ্ডলী নেওয়া হয়।

ধরা যাক, পরিবাহী-দুটির রোধ যথাক্রমে $R_1$ ও $R_2$। এখন প্রথম পরিবাহীটিকে নিয়ে ক্যালরিমিটারের তরলের মধ্যে ডুবিয়ে, অন্যান্য যন্ত্রের সঙ্গে শ্রেণী সমন্বয়ে যুক্ত ক'রে একটি নির্দিষ্ট মাত্রার প্রবাহ (C) পরিবাহীর মধ্য দিয়ে নির্দিষ্ট সময়ের জন্য ($t$) প্রবাহিত করানো হ'ল। যদি এই প্রেরিত প্রবাহের জন্য ভোল্টমিটারের V-র পাঠ $V_1$

কোন বিক্ষেপ দেখা যাবে না। গ্যালভানোমিটারের এই অবস্থাকে **নিস্পন্দ অবস্থা** ( null condition ) বলা হয়। এই সময়ে B ও D বিন্দুর মধ্যে কোন বিভব-বৈষম্য থাকে না। অর্থাৎ, $V_B - V_D = 0$ অথবা $V_B = V_D$, যেখানে $V_B$ এবং $V_D$ যথাক্রমে B এবং D বিন্দুর বিভব। নিস্পন্দ অবস্থাতে ধরা যাক, চারটি রোধের মান P, Q, R এবং S। এখন ওহম্ এর সূত্র থেকে AB বাহুতে বিভব-বৈভম্য থেকে

$V_A - V_B = i_1 P$ (1) [ যেখানে $V_A$, A-বিন্দুর বিভব ]

এবং AD বাহুতে বিভব-বৈষম্য $V_A - V_D = i_2 R$ (2)

এই অবস্থাতে AB এবং BC বাহুর মধ্য দিয়ে তড়িৎ-প্রবাহের মান সমান এবং AD এবং DC বাহুর মধ্য দিয়ে তড়িৎ-প্রবাহের মান সমান।

অতএব BC বাহুতে বিভব-বৈষম্য

$V_B - V_C = i_1 Q$ (3) [ যেখানে $V_C$, C-বিন্দুর বিভব ]

এবং CD বাহুর ক্ষেত্রে,

$V_C - V_D = i_2 S$ (4)

(1)নং এবং (3)নং সমীকরণ থেকে আমরা পাই, $\frac{V_A - V_B}{V_B - V_C} = \frac{P}{Q}$ (5)

এবং (2)নং ও (4) নং সমীকরণ থেকে পাই, $\frac{V_A - V_B}{V_D - V_C} = \frac{R}{S}$ (6)

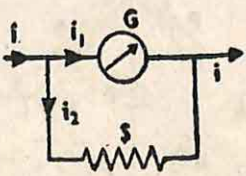
(5 নং এবং (6)নং সমীকরণ থেকে

$\therefore \frac{P}{Q} = \frac{R}{S}$ (7) $\left[\because V_B = V_D\right]$

এখন P, Q, R, S—চারটি রোধকের মধ্যে যে-কোন তিনটি রোধকের মান জানা থাকলে আমরা অজ্ঞাত রোধকটি (7) নং সমীকরণের সাহায্যে বার করতে পারি।

● **সাণ্ট বা বিকল্প পথ (Shunt) :**

সমান্তরাল শ্রেণীতে রোধক-সজ্জার ব্যবহারিক প্রয়োগ হ'ল সাণ্ট বা বিকল্প পথ। সাধারণতঃ গ্যালভানোমিটারের মধ্য দিয়ে হঠাৎ যাতে বেশী তড়িৎ প্রবাহিত হয়ে একে নষ্ট না ক'রে দেয়, সেজন্য এর সঙ্গে সমান্তরাল-ভাবে একটি **অল্প মানের** রোধক ব্যবহার করা হয়ে থাকে। একে সাণ্ট বলে।



Fig, 149

ধরা যাক, কোন গ্যালভানোমিটারের অভ্যন্তরীণ রোধ G এবং এর সঙ্গে সমান্তরাল-ভাবে যুক্ত রোধকের মান S। প্রধান তড়িৎ-মাত্রা $i$ (fig. 149 )। এই প্রধান তড়িৎ-মাত্রা $i$, $i_1$ ও $i_2$ ভাগে বিভক্ত হয়ে যথাক্রমে গ্যালভানোমিটার ও সাণ্টে প্রবেশ করছে।

সমান্তরাল সংযোগ ব'লে, $i_1 . G = i_2 . S$

$$\frac{i_2}{i_1}=\frac{G}{S} \quad \text{বা,} \quad 1+\frac{i}{i_1}=\frac{G}{S}+1$$

বা, $\frac{i}{i_1}=\frac{G+S}{S}$ [$\because$ $i_1+i_2=i$]

বা, $i=\frac{G+S}{S}i_1$ এবং $i_1=\frac{S}{G+S}i$

অনুরূপভাবে, $i_2=\frac{G}{G+S}\cdot i.$

**ব্যবহার ঃ**

(1) সাণ্ট ব্যবহৃত হলে, কম সীমার (range) যন্ত্রাদি দিয়ে বেশী তড়িৎ-মাত্রা মাপা যেতে পারে।

(2) সাণ্ট ব্যবহার ক'রে অ্যামমিটার, ভোল্টমিটার, গ্যালভানোমিটার প্রভৃতি যন্ত্রের ক্ষয়ক্ষতি নিবারণ করা যায়।

117. তড়িৎ প্রবাহের তাপীয় ফল সংক্রান্ত জুলের সূত্রগুলি বিবৃত কর। জুলের তুল্যাঙ্ক বলতে কি বুঝ? এই সূত্রগুলির সত্যতা নিরূপণের পরীক্ষাগুলি বিবৃত কর। তাড়িতিক পদ্ধতিতে কিভাবে জুলের তুল্যাঙ্ক নির্ণয় করা যায়, তাহা বিবৃত কর। বর্তনী চিত্রটি অংকন কর।

[ Write down Joule's laws of heating effect of current. What do you mean by Joule's equivalent? How will you verify the laws experimentally?

How would you experimentally determine Joule's equivalent by electrical method? Give circuit diagram.]

● **তড়িৎ-প্রবাহের তাপীয় ফল সংক্রান্ত জুলের সূত্রাবলী।**

1841 খ্রীষ্টাব্দে বৈজ্ঞানিক জুল পরিবাহীর মধ্যে তড়িৎ-প্রবাহের ফলে তাপ এবং তড়িৎ-প্রবাহের পারস্পরিক সম্বন্ধ নির্ণয় করেন। একে জুলের **সূত্র** বলা হয়। জুল **তিনটি সূত্র** বিবৃত করেন। এগুলি এরকম ঃ

1. **প্রবাহ-মাত্রার সূত্র** (law of current) ঃ যখন কোন পরিবাহী তারের মধ্যে তড়িৎ প্রবাহিত হয়, তখন যদি পরিবাহী তারের রোধ (R) এবং প্রবাহ চলবার সময় ($t$) অপরিবর্তিত থাকে, তাহলে পরিবাহী তারে উৎপন্ন তাপ (H) প্রবাহ-মাত্রার (C) বর্গের সমানুপাতিক হবে।

অর্থাৎ, $H \propto C^2$ [যখন R এবং $t$ স্থির]

2. **সময়ের সূত্র** (law of time) ঃ যদি প্রবাহ-মাত্রা (C) এবং পরিবাহীর রোধ (R) স্থির থাকে, তাহলে পরিবাহী তারে যে-তাপ (H) উৎপন্ন হয়, তা তড়িৎ-প্রবাহ চলবার সময়ের সঙ্গে ($t$) সমানুপাতিক হবে।

অর্থাৎ, $H \propto t$, [যখন C এবং R স্থির]

3. **রোধের সূত্র** (law of resistance) ঃ যদি প্রবাহ-মাত্রা (C) এবং তড়িৎ-প্রবাহ চলবার সময় ($t$) স্থির থাকে, তাহলে পরিবাহী তারে যে-তাপ (H) উৎপন্ন হয়, তা পরিবাহীর রোধের (R) সঙ্গে সমানুপাতিক হবে।

অর্থাৎ, $H \propto R$ [যখন C এবং $t$ স্থির]

1 অ্যাম্পীয়ার তড়িৎ 1 সেকেণ্ড ধরে প্রবাহিত হলে, তড়িতাধানের পরিমাণ 1 কুলম্ব হবে।

**সংজ্ঞা :** কাজ করবার হারকে **ক্ষমতা** (power) বলে। তড়িৎ-প্রবাহের ক্ষমতার একক **ওয়াট**। ওয়াট বলতে এক সেকেণ্ডে এক জুল কাজ সম্পাদন করাকে বোঝায়।

সুতরাং, 1 ওয়াট = 1 জুল প্রতি সেকেণ্ডে।

বা, 1 ওয়াট = $10^7$ আর্গ প্রতি সেকেণ্ডে।

এক্ষেত্রেও যদি Q কুলম্ব তড়িৎ কোন পরিবাহীর মধ্য দিয়ে $t$ সেকেণ্ড ধরে প্রবাহিত হয়ে পরিবাহীর দুই প্রান্তে V ভোল্ট বিভব-বৈষম্যের সৃষ্টি করে, তাহলে মোট কাজ = QV জুল।

যেহেতু কাজ করবার হারকে ক্ষমতা বলে, সেহেতু

$$\text{ক্ষমতা} = \frac{QV}{t} \text{ জুল প্রতি সেকেণ্ডে}$$

অতএব, ক্ষমতা = C.V জুল প্রতি সেকেণ্ডে বা ওয়াট। $\left[\because \frac{Q}{t} = C\right]$

সুতরাং, ওয়াট = অ্যাম্পীয়ার × ভোল্ট।

ওয়াটের চেয়েও একটি বড় একক আছে। এর নাম **কিলোওয়াট**। ওয়াটের চেয়ে এটি 1000 গুণ বড়। 1 কিলোওয়াট = 1000 ওয়াট।

কাজ মাপবার এককের নাম **ওয়াট-আওয়ার**। যদি কোন তড়িৎ-বর্তনীতে V বিভব-বৈষম্য সৃষ্টি ক'রে C মাত্রার তড়িৎ-প্রবাহ $t$ ঘণ্টার জন্য প্রবাহিত করানো হয়, তাহলে বর্তনীতে কাজের পরিমাপ হবে V C$t$ ওয়াট-আওয়ার।

সুতরাং, ওয়াট-আওয়ার = ভোল্ট × অ্যাম্পীয়ার × ঘণ্টা।

ওয়াট-আওয়ারের চেয়ে 1000 গুণ বড় একক হ'ল **কিলোওয়াট-আওয়ার**। একে **বোর্ড অব ট্রেড একক** ( B. O. T unit ) বলা হয়। সুতরাং,

$$1 \text{ কিলোওয়াট-আওয়ার বা B. O. T. একক} = \frac{\text{অ্যাম্পীয়ার} \times \text{ভোল্ট} \times \text{ঘণ্টা}}{1000}$$

বাড়ীতে যে ইলেকট্রিক মিটার বসানো থাকে, তার সাহায্যে, কিলোওয়াট-আওয়ার এককের সংখ্যা স্থির করা হয়। ইলেকট্রিক কোম্পানি এর মান অনুসারে বিল ক'রে থাকেন।

230v – 100w কোন বৈদ্যুতিক বাতির গায়ে লেখা থাকলে এর অর্থ এই যে—বাতিটিতে 230Volt বিভব-পার্থক্য সৃষ্টি করলে, বাতিটি সবচেয়ে উজ্জ্বল হয়ে জ্বলবে এবং এটি প্রতি সেকেণ্ড 100 Watt শক্তি ব্যয়িত করবে।

আমরা জানি যে,

$$\text{ওয়াট} = \text{ভোল্ট} \times \text{অ্যাম্পীয়ার}$$

$$\text{বা,} \quad 100 = 230 \times \text{অ্যাম্পীয়ার}$$

$$\therefore \quad \text{অ্যাম্পীয়ার} = \frac{100}{230} = \cdot 435.$$

∴ প্রবাহমাত্রা = ·435 Ampere.

সুতরাং, বাতিটির রোধ

$$R = \frac{V}{C} = \frac{230}{\cdot 435} = 528{\cdot}74$$

অতএব, ভাস্বর অবস্থায় বাতিটির রোধ = 528·74 Ohms.

এখানে ব্যয়িত তড়িৎ শক্তি = 230 × ·435 Watt.

∴ প্রতিটি বাতি প্রত্যহ 6 ঘণ্টা ধরে জ্বললে 30 দিনের মাসে ব্যয়িত মোট তড়িৎ শক্তি = 230 × ·435 × 6 × 30 watt-hour.

∴ B. O. T. একক $= \frac{230 \times \cdot 435 \times 6 \times 30}{1000}$

$= 18{\cdot}009 = 18$ ( প্রায় )।

**119.** তুমি একটি বৈদ্যুতিক হিটারের মধ্য দিয়ে নিরবচ্ছিন্নভাবে তড়িৎ পাঠাইতেছ। কিন্তু কিছুক্ষণ পরে ইহার তাপমাত্রা আর বৃদ্ধি পাবে না। কারণ ব্যাখ্যা কর।

[ You are sending current continuously through an electric heater but the temperature does not increase after some time. —Explain ]

মনে করা হ'ল, বৈদ্যুতিক হিটারের কুণ্ডলীর রোধ = R. উহার মধ্য দিয়া $t$ সময়ে C অ্যাম্পীয়ার তড়িৎ পাঠানো হলে জুলের তাপ-তড়িৎ সম্পর্কিত সূত্র থেকে আমরা পাই, উদ্ভুত তাপ $H = \frac{C^2Rt}{J}$, যেখানে J → জুলের যান্ত্রিক তুল্যাঙ্ক।

বা, $H = \cdot 24\, C^2Rt$, যেখানে J = 4·2 Joule/calorie.

∴ প্রতি সেকেণ্ডে উদ্ভুত তাপ = $\cdot 24C^2R$ calorie.

এই উদ্ভুত তাপের দরুন বৈদ্যুতিক হিটারে তাপমাত্রা বৃদ্ধি পায়। তড়িৎ-প্রবাহের ফলে উৎপন্ন তাপের প্রভাবে হিটারের তাপমাত্রা বৃদ্ধি পেলে পারিপার্শ্বিক তাপমাত্রা অপেক্ষা হিটারের তাপমাত্রা বেশী হয়। এর ফলে পরিবহণ, পরিচলন এবং বিকিরণ পদ্ধতি দ্বারা হিটার হতে কিছু তাপ বাইরে চলে যায়। তাপের এই অপচিত অংশ হিটারের তাপমাত্রা বৃদ্ধির কাজে লাগে না। হিটারের তাপমাত্রা যত বৃদ্ধি পাবে, তাপের এই অপচিত অংশের মান তত বাড়বে। ফলে, তাপমাত্রা বৃদ্ধির হার কমবে।

হিটারের যে তাপমাত্রায় তাপের এই অপচিত অংশের হার তড়িৎ-প্রবাহের ফলে উৎপন্ন তাপের হারের সমান হবে, সেই তাপমাত্রা বৃদ্ধি করার জন্য কোন অবশিষ্ট তাপ হিটারে থাকবে না। ফলে, উক্ত তাপমাত্রার পর হিটারের তাপমাত্রা আর বৃদ্ধি পাবে না।

**120.** সীবেক ক্রিয়া এবং পেল্‌টিয়ার ক্রিয়া বলতে কি বুঝ? তাপীয় তড়িৎ প্রবাহ এবং তাপীয় তড়িৎ-চালক বল বলতে কি বুঝ। তাপ-যুগ্ম কাকে বলে? তাপ-যুগ্মের সাহায্যে কিভাবে অজানা তাপমাত্রা নির্ণয় করা যায়, তাহা বিবৃত কর।

[What are Seebeck and Peltier effect? What do you mean by thermo current and thermo e. m. f? What is thermo couple? How would you determine unknown temperature with the help of a thermo couple?

● **সীবেক ক্রিয়া (Seebeck Effect)** ঃ

বৈজ্ঞানিক সীবেক (Seebeck) পরীক্ষা ক'রে দেখেন যে, দুটি বিভিন্ন ধাতব তারের (যেমন—তামা ও লোহা) প্রান্ত দুটি যোগ ক'রে একটি বদ্ধবর্তনী গঠন করলে এবং এদের সংযোগস্থলে উষ্ণতার পার্থক্যের সৃষ্টি করলে ঐ সংযোজক তারের মধ্য দিয়ে ক্ষীণ তড়িৎ স্রোত প্রবাহিত হবে। একে 'সীবেক ক্রিয়া' বলে। যে প্রবাহ সৃষ্টি হয়, তাকে তাপ-তড়িৎ প্রবাহ (thermo-electric current) বলে এবং এজন্য ব্যবহৃত তার-দুটিকে তাপ-যুগ্ম (thermo-couple) বলে। এক্ষেত্রে উষ্ণতার পার্থক্য থাকার জন্য বর্তনীতে তড়িচ্চালক বল সৃষ্টি হয় এবং একে তাপ-তড়িচ্চালক বল বলে।

নীচের চিত্রে (fig. 153) লোহা ও তামার তার দিয়ে তৈরী তাপ-যুগ্ম A এবং B হচ্ছে তার-দুটির সংযোগস্থল। এই বন্ধ বর্তনীতে একটি সুবেদী (sensitive) গ্যালভানোমিটার যোগ করা হয়েছে। এখন A-কে উত্তপ্ত করলে এবং B-কে একই উষ্ণতায় রাখলে, B ঠান্ডা সংযোগের মধ্য দিয়ে তড়িৎ-স্রোত লোহার তার থেকে তামার তারে এবং গরম সংযোগ A-এর মধ্য দিয়ে তামার তার থেকে লোহার তারে প্রবাহিত হতে দেখা যাবে। অনুরূপে A-সংযোগ ঠান্ডা এবং B-সংযোগ উত্তপ্ত করলে তড়িৎ স্রোত বিপরীত দিকে প্রবাহিত হবে।

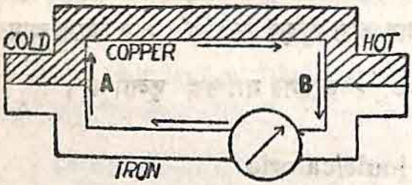


Fig. 153

● **পেল্‌টিয়ার ক্রিয়া (Peltier Effect)** ঃ

কোন তাপ-যুগ্মের বন্ধ বর্তনীতে একটি তড়িৎ-কোষ অন্তর্ভুক্ত ক'রে তাতে তড়িৎ-প্রবাহ চালনা করলে ঐ তাপ-যুগ্মের দুটি সংযোগের মধ্যে একটি গরম ও অপরটি ঠান্ডা হয়। একে **পেল্‌টিয়ার ক্রিয়া** (Peltier effect) বলে। 1834 খ্রীষ্টাব্দে পেল্‌টিয়ার এটি আবিষ্কার করেন। একে **বিপরীত সীবেক ক্রিয়া** বলা হয়। পেল্‌টিয়ার দেখেন যে, কোন তাপ-যুগ্মের বর্তনীতে গ্যালভানোমিটারের পরিবর্তে একটি তড়িৎ-কোষ যোগ ক'রে তাতে তড়িৎ-প্রবাহ চালনা করলে এর একটি সংযোগ উত্তপ্ত এবং

অপরটি ঠাণ্ডা হয়। বর্তনীতে প্রবাহের অভিমুখ বিপরীত করলে দেখা যাবে যে, ঠাণ্ডা সংযোগটি উত্তপ্ত এবং উত্তপ্ত সংযোগটি ঠাণ্ডা হয়েছে। সাধারণতঃ কোন তাপ-যুগ্মের কোন সংযোগ উত্তপ্ত করলে তাতে যে অভিমুখে প্রবাহ চলে, প্রবাহ সেই অভিমুখে চালনা করলে সেই সংযোগ ঠাণ্ডা হয়। সীবেক ক্রিয়ার পরীক্ষাতে তামা-লোহা যুগ্মের ক্ষেত্রে আমরা দেখেছি যে, A সংযোগ ঠাণ্ডা করলে ঐ সংযোগের মধ্য দিয়ে লোহা থেকে তামাতে তড়িৎ-প্রবাহ হয়। সুতরাং, লোহা থেকে তামায় A সংযোগের মধ্য দিয়ে তড়িৎ-কোষ থেকে প্রবাহ চালনা করলে পেলটিয়ারের ক্রিয়ার জন্য ঐ সংযোগ উত্তপ্ত এবং B সংযোগ ঠাণ্ডা হবে। আবার প্রবাহের অভিমুখ বিপরীত করলে A সংযোগ ঠাণ্ডা এবং B সংযোগ উত্তপ্ত হবে (fig. 154)।

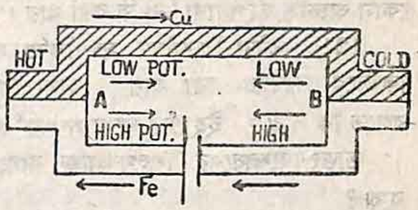


Fig. 154

**ব্যাখ্যা :** ধরে নেওয়া হয় যে, ভিন্ন দুটি বস্তুর সংযোগ-স্থলে তড়িচ্চালক বল আছে। একটি নির্দিষ্ট যুগ্মে তড়িচ্চালক বল নির্দিষ্ট। তামা-লোহার যুগ্মে তড়িচ্চালক বলের দিক—তামা থেকে লোহার দিকে। এজন্য যখন তড়িৎ প্রবাহিত করা হয়, তখন সংযোগস্থল ঠাণ্ডা হয় এবং তড়িৎ তামা থেকে লোহার দিকে যায়। অন্য সংযোগস্থলে তাপ উৎপন্ন হয়।

● **তাপ-তড়িৎ প্রবাহ এবং তাপীয় তড়িৎচালক বল ঃ**

দুটি বিভিন্ন ধাতুর তার বা দণ্ডকে দুই প্রান্তে ঝালাই ক'রে একটি সংহত বর্তনী গঠন করলে এবং এই দুই সংযোগস্থলকে বিভিন্ন তাপমাত্রায় রাখলে দেখা যায় যে, উক্ত বর্তনী দিয়ে একটি ক্ষীণ তড়িৎপ্রবাহ যাচ্ছে। ইহা থেকে আরও দেখা যায় যে, বর্তনীতে একটি তড়িচ্চালক বল ক্রিয়া করছে। তাপমাত্রায় পার্থক্যের দরুন এই তড়িচ্চালক বলের উৎপত্তি।

এখানে যে তড়িৎ-প্রবাহের সৃষ্টি হয়, তাকে **তাপ-তড়িৎ প্রবাহ** বলে এবং যে তড়িৎ-চালক বলের সৃষ্টি হয়, তাকে **তাপীয় তড়িচ্চালক বল** বলে।

● **তাপ-যুগ্ম ( Thermo-couple ) ঃ**

তাপ-তড়িৎ প্রবাহ যুক্ত ধাতু-যুগ্মকে **তাপ-যুগ্ম** বলা হয়।

**তাপযুগ্মের সাহায্যে অজ্ঞাত তাপমাত্রা নির্ণয় ঃ**

কোন তাপযুগ্মের একটি সংযোগস্থলকে 0°C তাপমাত্রায় এবং অপর সংযোগস্থলকে $t$°C তাপমাত্রায় রাখলে উক্ত তাপ-যুগ্ম তাপমাত্রা পার্থক্যের দরুন যে তাপীয় তড়িৎ-চালক বলের সৃষ্টি হয়, তাহা নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়।

$$E = aT + bT^2$$

যেখানে $a$ এবং $b$ তাপ-যুগ্মের ধ্রুবরাশি। এই সমীকরণের সাহায্যে তাপ-যুগ্মের কোন অজ্ঞাত তাপমাত্রা নির্ণয় করা যায়।

121. তড়িৎ-বিশ্লেষণ সম্পর্কিত ফ্যারাডের সূত্র বিবৃত কর। এই সূত্রগুলি কিভাবে পরীক্ষা করা যায়? রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক এবং তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক বলতে কি বুঝ? ইহাদের মধ্যে সম্পর্ক প্রতিষ্ঠা কর।

তড়িৎ-বিশ্লেষণের শিল্প-কাজে ব্যবহার উল্লেখ কর। তড়িৎ-প্রলেপন বলতে কি বুঝ?

[ State Faraday's law of electrolysis. How are they experimentally verified? What do you mean by chemical equivalent and electro-chemical equivalent of an element? How are they related?

Mention some of the industrial application of electrolysis and explain electroplating. ]

● **তড়িৎ-বিশ্লেষণ সম্পর্কিত ফ্যারাডের সূত্র (Faraday's Laws of Electrolysis)**

আনুমানিক 1833 খ্রীষ্টাব্দে মাইকেল ফ্যারাডে তড়িৎ-বিশ্লেষণ সম্পর্কিত কয়েকটি পরিমাণমূলক পরীক্ষা করেন এবং দুটি সূত্রে উপনীত হন। এদের ফ্যারাডের তড়িৎ-বিশ্লেষ্য সম্পর্কিত সূত্র বলে। সূত্র-দুটি এ-রকম ঃ

<u>প্রথম সূত্র</u> ঃ তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের মধ্য দিয়ে যে পরিমাণ তড়িৎ প্রবাহিত হয়, তা যে-কোন তড়িৎ দ্বারে মুক্ত আয়নের ভরের সমানুপাতিক।

<u>দ্বিতীয় সূত্র</u> ঃ সম-পরিমাণ তড়িৎ বিভিন্ন তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হলে, যে-কোন তড়িৎদ্বারে মুক্ত আয়নের ভর এদের রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের ( chemical equivalent ) সমানুপাতিক হয়।

**<u>প্রথম সূত্রের ব্যাখ্যা</u> ঃ** ধরা যাক, কোন তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের মধ্য দিয়ে Q coulomb পরিমাণ তড়িৎ $t$ সেকেণ্ড প্রবাহিত হ'ল এবং ফলে W gm আয়ন মুক্ত হয়। প্রথম সূত্র অনুযায়ী, $Q \propto W$

আবার, তড়িৎ-প্রবাহের (current) মাত্রা C অ্যাম্পীয়ার হলে, তড়িৎ-প্রবাহের মাত্রার সংজ্ঞা থেকে লিখতে পারি,

$$C = \frac{Q}{t} \quad \text{বা,}\ Q = C \times t.$$

তাহলে $Q \propto W$ থেকে $C.t \propto W$ বা, $W = Z.C.t.$

Z একটি ধ্রুবক, যার মান তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের পদার্থের উপর নির্ভর করে। একে তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক ( electro-chemical equivalent or E. C. E. ) বলে।

যখন $C = 1$ amp., $t = 1$ sec. ( অর্থাৎ, $Q = 1$ coulomb ), তখন $Z = W$ gm.

তাহলে কোন পদার্থের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের সংজ্ঞা হিসাবে বলা

যেতে পারেঃ 1 অ্যাম্পীয়ার তড়িৎপ্রবাহ কোন তড়িৎ-বিশ্লেষ্যে এক সেকেন্ড ধরে পাঠালে, পদার্থের যত গ্রাম মুক্ত আয়ন বার হয়, তাকেই ঐ পদার্থের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক ( E. C. E. ) বলা হয়।

$z = \frac{W}{C \cdot t} = \frac{W}{Q}$ ব'লে তড়িৎ রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের একক—গ্রাম / কুলম্ব ( gm/coulomb )। এই এককটি সি. জি. এস. পদ্ধতিতে।

দ্বিতীয় সূত্রের ব্যাখ্যা ঃ প্রথমেই আমাদের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক বলতে কি বোঝায়, তা জানতে হবে।

কোন মৌলের পারমাণবিক ওজন ( atomic weight ) এবং যোজ্যতার ( valency ) অনুপাতকে রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক ( chemical equivalent ) বলে।

$$\text{অর্থাৎ, রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক} = \frac{\text{পারমাণবিক ভর}}{\text{যোজ্যতা}}$$ ।

যদি আমরা অম্ল-যুক্ত জল এবং রূপোর দ্রবণের মধ্যে দিয়ে সম-পরিমাণ তড়িৎ পাঠানো হয়, তাহলে তড়িৎ-বিশ্লেষণের ফলে ঋণাত্মক তড়িৎ-দ্বারে হাইড্রোজেন এবং ধনাত্মক তড়িৎ-দ্বারে রূপো মুক্ত হবে। হাইড্রোজেন এবং রূপোর তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক যথাক্রমে 1 এবং 108 ব'লে যদি 1 gm হাইড্রোজেন মুক্ত হয়, তাহলে 108 gm রূপো মুক্ত হবে। ]

## ● ফ্যারাডের সূত্রাবলীর পরীক্ষা ( Experimental Verification of Faraday's Laws ) ঃ

প্রথম সূত্রের পরীক্ষা ঃ তিনটি তামার ভোল্টামিটার A, B ও C নিয়ে নীচের চিত্রের ( fig. 155 ) মতো বর্তনী সম্পূর্ণ করা হ'ল। B C-কে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করা হ'ল। এদের সমন্বয়ের সঙ্গে A-কে শ্রেণী-সমবায়ে যুক্ত করা হয়েছে। তড়িৎ-বর্তনীটি একটি ব্যাটারী, একটি রিওস্ট্যাট ($R_h$) এবং একটি চাবি (K) দ্বারা সম্পূর্ণ করা হয়েছে। প্রত্যেকটি ভোল্টামিটার ঋণাত্মক তড়িৎ-দ্বার (cathode) শিরীষ কাগজ দিয়ে পরিষ্কার করা হয়েছে। তুলাযন্ত্র দিয়ে এদের প্রত্যেকটির ওজন সাবধানে মাপা হয়েছে। বর্তনী সম্পূর্ণ ক'রে তড়িৎ-প্রবাহ পাঠালে, মূল তড়িৎ-প্রবাহ A ভোল্টামিটার দিয়ে যাবে এবং B ও C ভোল্টামিটারে মূল তড়িৎ মাত্রা দু'ভাগে বিভক্ত হয়ে যাবে। যদি A-তে

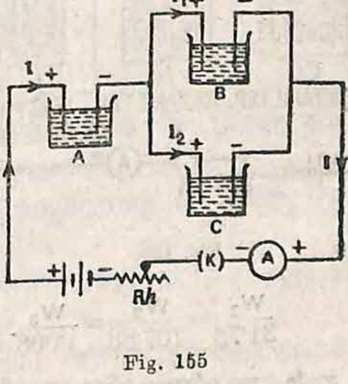



Fig. 155

তড়িৎ-মাত্রা I এবং B ও C-তে তড়িৎ-মাত্রা যথাক্রমে $I_1$ ও $I_2$ হয়, তাহলে, $I=I_1+I_2$.

কিছুক্ষণ তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাবার পর ভোল্টামিটারগুলি থেকে ঋণাত্মক তড়িৎ-দ্বারগুলি বার ক'রে, বিশুদ্ধ জলে ধুয়ে এবং শুকনো ক'রে ওজন করা হয়।

প্রতিটি ঋণাত্মক তড়িৎ-দ্বারের দ্বিতীয় ওজন থেকে প্রথম ওজন বাদ দিলে, মুক্ত আয়নের পরিমাণ পাওয়া যাবে। ধরা যাক,

A ভোল্টামিটারে মুক্ত আয়নের ভর $= W$ gm

B ভোল্টামিটারে মুক্ত আয়নের ভর $= W_1$ gm

C ভোল্টামিটারে মুক্ত আয়নের ভর $= W_2$ gm

তাহলে, প্রথম সূত্র অনুসারে,

$W = Z.\ I.t$ ( A ভোল্টামিটারের জন্য )

$W_1 = Z.\ I_1.t$ ( B ভোল্টামিটারের জন্য )

$W_2 = Z.\ I_2.t$ ( C ভোল্টামিটারের জন্য )

অতএব, $W_1+W_2=Z.t.(I_1+I_2)=Z.I.t.=W$ হবে।

দেখা যাবে যে, $W=W_1+W_2$ ; অর্থাৎ, প্রথম সূত্রটি পরীক্ষিত হ'ল।

**দ্বিতীয় সূত্রের পরীক্ষা :** একটি রুপোর ভোল্টামিটার, একটি তামার ভোল্টামিটার এবং একটি অম্ল-যুক্ত জলের ভোল্টামিটার শ্রেণী-সমবায়ে যোগ করা হ'ল ( fig. 156 )। তড়িৎ-বর্তনীটি একটি ব্যাটারী, একটি পরিবর্তনশীল রোধ ($R_h$) ও একটি চাবির (K) মধ্য দিয়ে সম্পূর্ণ করা হ'ল। প্রত্যেকের মধ্য দিয়ে একই সময়ের জন্য একই তড়িৎ-প্রবাহ পাঠানো হ'ল।

ধরা যাক, $W_1$ gm তামা, $W_2$ gm রুপো এবং $W_3$ gm হাইড্রোজেনের মুক্ত হ'ল। হাইড্রোজেনের ভর তুলাযন্ত্রের সাহায্যে বার করা যাবে না। প্রমাণ চাপ ও উষ্ণতায় ( N. T. P. ) হাইড্রোজেনের আয়তন, গ্যাসীয় সূত্র থেকে $\left(\frac{PV}{T}=\frac{P_1V_1}{T_1}\right)$ বার করতে হবে। এই আয়তনকে প্রমাণ চাপ ও উষ্ণতায় হাইড্রোজেনের ঘনত্ব দিয়ে গুণ করতে হবে। তামা, রুপো ও হাইড্রোজেনের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক যথাক্রমে 31·75, 107·88 ও 1·008. দেখা যাবে যে,

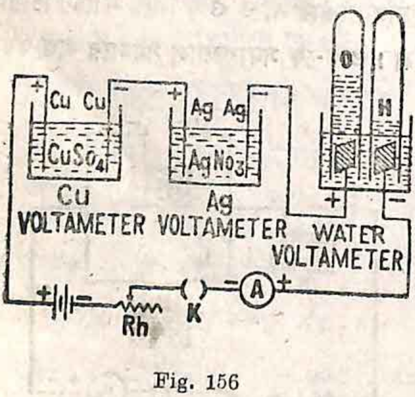



Fig. 156

$$\frac{W_1}{31{\cdot}75}=\frac{W_2}{107{\cdot}88}=\frac{W_3}{1{\cdot}008}.\quad \text{অতএব,}\ \frac{W}{\text{রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক}}=\text{ধ্রুবক}।$$

অর্থাৎ, সম-পরিমাণ তড়িৎ-প্রবাহ বিভিন্ন তড়িৎ-বিশ্লেষ্যের মধ্য দিয়ে প্রবাহিত হলে আয়নের ভর রাসায়নিক তুল্যাঙ্কের সমানুপাতিক হবে।

● **তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাংক ঃ**

**সংজ্ঞা ঃ** অ্যাম্পীয়ার তড়িৎ-প্রবাহ কোন তড়িৎ-বিশ্লেষ্যে এক সেকেন্ড ধরে পাঠালে, পদার্থের যত গ্রাম আয়ন মুক্ত হয়, তাকেই ঐ পদার্থের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাংক বলা হয়। ইহাকে Z দ্বারা সূচিত করা হয়।

তড়িৎ-বিশ্লেষণ সম্পর্কিত ফ্যারাডের প্রথম সূত্র থেকে আমরা পাই,

$$Z=\frac{W}{C.t}=\frac{W}{Q}.$$

● **রাসায়নিক তুল্যাংক ঃ**

**সংজ্ঞা ঃ** কোন মৌলের রাসায়নিক তুল্যাংক হ'ল উক্ত মৌলের পারমাণবিক ওজন এবং মৌলের যোজ্যতার অনুপাত।

**তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাংক এবং রাসায়নিক তুল্যাংকের মধ্যে সম্পর্ক ঃ**

মনে করা হ'ল, কোন ভোল্টামিটারে তড়িৎ-বিশ্লেষণের ফলে A এবং B দুটি মৌল মুক্ত হ'ল।

তড়িৎ-বিশ্লেষণ সম্পর্কিত ফ্যারাডের প্রথম সূত্র থেকে আমরা পাই,

$$\frac{W_1}{W_2}=\frac{Z_1}{Z_2} \qquad (1)$$

এবং ফ্যারাডের দ্বিতীয় সূত্র থেকে আমরা পাই,

$$\frac{W_1}{W_2}=\frac{C_1}{C_2} \qquad (2)$$

যেখানে $Z_1$ এবং $Z_2$ হ'ল A এবং B মৌলের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাংক। $C_1$ এবং $C_2$ হ'ল যথাক্রমে A এবং B মৌলের রাসায়নিক তুল্যাংক।

1 নং এবং (2)নং সমীকরণ থেকে আমরা পাই,

$$\frac{Z_1}{Z_2}=\frac{C_1}{C_2}$$

বা, $$Z_1=\frac{C_1}{C_2}\times Z_2$$

B মৌলটি হাইড্রোজেন হলে $C_2=1$ ;

অতএব, $$Z_1=C_1\times Z_2.$$

সুতরাং, কোন মৌলের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাংক=ঐ মৌলের রাসায়নিক তুল্যাংক × হাইড্রোজেনের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাংক।

● **শিল্পে তড়িৎ-বিশ্লেষণের প্রয়োগ (Application of Electrolysis in Industry) ঃ**

নানারকম শিল্প-কাজে তড়িৎ-বিশ্লেষণ পদ্ধতি ব্যবহার করা হয়। এদের কয়েকটি সম্বন্ধে এখানে আলোচনা করা হচ্ছে।

1. **তড়িৎ-প্রলেপন** (electro-plating) ঃ কাঁটা, ছুরি, বোতাম, চামচ ইত্যাদি কোন নিকৃষ্ট ধাতু (যথা—লোহা, তামা, ব্রোঞ্জ ইত্যাদি) দিয়ে তৈরি ক'রে এদের উপর সোনা, রুপো, নিকেল ইত্যাদি উৎকৃষ্ট ধাতুর প্রলেপ দেওয়াকে **তড়িৎ-প্রলেপন**

( electroplating) বলে। এতে জিনিসগুলি চকচকে ও সুন্দর দেখায় এবং দামেও সস্তা হয়, উপরন্তু ধাতুকেও ক্ষেত্র বিশেষে রক্ষা করা যায়।

ছুরি, কাঁটা ইত্যাদি যে সমস্ত বস্তুতে প্রলেপ দিতে হবে, এদের কস্টিক সোডা ও পাতলা হাইড্রোক্লোরিক অ্যাসিডের দ্রবণে প্রথমে ধুয়ে নিতে হয়। তারপর সেগুলি একটি দণ্ড থেকে একটি পাত্রের ভিতর ডোবানো হয়। এই পাত্রটিকে **তড়িৎ-পাত্র** (electric-bath) বলে। দণ্ডটির সঙ্গে তড়িৎ-কোষের **ঋণাত্মক** প্রান্ত যুক্ত করা হয়। অপর আর একটি দণ্ড থেকে যে ধাতুর প্রলেপ দেওয়া হবে (যথা—সোনা, রুপো ইত্যাদি), তার কয়েকটি বিশুদ্ধ পাত লাগানো থাকে। তড়িৎ-কোষের ধনাত্মক প্রান্ত এই দণ্ডটির সঙ্গে যুক্ত করা হয় (fig. 157)। এছাড়া যে ধাতুর প্রলেপ দেওয়া হয়, সেই ধাতুর লবণ দ্রবণ তরল হিসাবে নেওয়া হয়। যখন রুপোর প্রলেপ দেওয়া হয়, তখন পাত্রটির ভিতর সাধারণতঃ সিলভার নাইট্রেট বা পটাসিয়াম আর্জেণ্টোসায়ানাইড দ্রবণ থাকে। কোষ থেকে তড়িৎ-প্রবাহ চালালে, তড়িৎ-বিশ্লেষণের জন্য রুপোর পাত থেকে রুপোর আয়ন বেরিয়ে এসে ঝুলন্ত বস্তুগুলির উপর জমা হয়ে বস্তুগুলির চারদিকে রুপোর আবরণ তৈরি করে। এভাবে কিছুক্ষণ পরেই বস্তুগুলির উপর প্রলেপ পড়ে যায়। লোহার উপর নিকেলের প্রলেপ দিতে হলে, নিকেলের পাত এবং নিকেল সালফেটে দ্রবণ ব্যবহার করা হয়। লোহার উপর দস্তার প্রলেপ লাগিয়ে মরচে-পড়া বন্ধ করা হয়। এরকম লোহাকে **গ্যালভ্যানাইজ্‌ড্ লোহা** (galvanised iron) বলে।

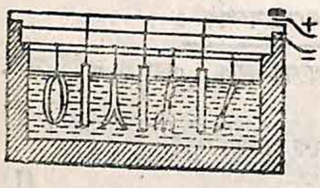



Fig. 157

পিতলের উপর এইভাবে সোনার আবরণ দেওয়াকে গিল্টি (guilding) করা বলে। এক্ষেত্রে পটাসিয়াম সায়ানাইডের সঙ্গে গোল্ড সায়ানাইড মিশিয়ে তড়িৎ-বিশ্লেষ্য তৈরি করা হয়।

তড়িৎ-প্রলেপনের আর একটি বিশেষ পদ্ধতিকে **ইলেক্‌ট্রো-টাইপিং** (electro typing) বলে। কোন ধাতুর উপর ছাপার অক্ষরের হরফের ছাঁচ প্রস্তুত করাই হ'ল ইলেক্‌ট্রো-টাইপিং। যে লেখাটির ইলেক্‌ট্রো-টাইপিং করতে হবে, সেটা প্রথমে সাধারণ টাইপ বা হরফে গেঁথে (compose) নেওয়া হয়। এর পর নরম মোমের উপর এর একটা ছাঁচ তুলে নেওয়া হয়। এই ছাঁচকে পরিবাহী করার জন্য এর উপর গ্রাফাইট ছড়িয়ে দেওয়া হয়। আবার, এই গ্রাফাইট-ছড়ানো মোমের ছাঁচটিকে কোন তামার ভোল্টামিটারের ঋণাত্মক তড়িৎ-দ্বার হিসাবে ব্যবহার করা হয়। ধনাত্মক তড়িৎ-দ্বার অবশ্যই একটি তামার পাত। ভোল্টামিটারের মধ্য দিয়ে তড়িৎ-প্রবাহ চালালে, মোমের ছাঁচের উপরে আস্তে আস্তে তামার গুঁড়ো জমবে। জমতে জমতে যখন এটা খানিকটা পুরু পাতের মতো হবে, তখন তড়িৎ-প্রবাহ বন্ধ ক'রে মোমের পাতটি বার করা হয়। এবার আস্তে আস্তে তামার পাতটি আলাদা ক'রে নেওয়া হয়। এটাই হ'ল ইলেক্‌ট্রো- টাইপিং। এরকম করলে লেখাটি অনেকবার ছাপা যায়, কারণ, এগুলি সহজে নষ্ট হয় না। গ্রামোফোনেও এই একই পদ্ধতিতে রেকর্ড তৈরি করা হয়।

2. **ধাতু নিষ্কাষণ ও শোধন** (Extraction and purification of metals) : খনি থেকে সাধারণতঃ কোন ধাতু বিশুদ্ধ অবস্থায় পাওয়া যায় না। এদের মধ্যে নানা ধাতু মিশ্রণ থাকে ; এদের আকরিক (ore) বলা হয়। আকরিক থেকে কোন নির্দিষ্ট ধাতু নিষ্কাশনের কাজেও নিষ্কাশিত ধাতু শোধন করার কাজে তড়িৎ-বিশ্লেষণ পদ্ধতি ব্যবহার করা হয়। অ্যালুমিনিয়ামের একটি আকরিকের নাম বক্সাইট (bauxite)। বক্সাইট থেকে অ্যালুমিনিয়াম নিষ্কাশনের কাজে তড়িৎ-বিশ্লেষণ প্রক্রিয়ার সাহায্য নেওয়া হয়। কস্টিক সোডা এবং কস্টিক পটাশ উৎপাদনের ক্ষেত্রেও এই পদ্ধতির প্রচলন আছে। তামার আকরিক থেকে তামা নিষ্কাশনের পর এর শোধন কাজেও তড়িৎ-বিশ্লেষণ পদ্ধতি ব্যবহার করা হয়।

122. (ক) সোজা পরিবাহীর মধ্য দিয়ে তড়িৎ-প্রবাহ দ্বারা সৃষ্ট চৌম্বক-ক্ষেত্রের প্রদর্শন কিভাবে করা যায়, তাহা বিবৃত কর। বলরেখাগুলি অংকন কর এবং উহাদের অভিমুখ নির্দেশ কর।

খ) একটি বৃত্তাকার পরিবাহীর মধ্য দিয়ে তড়িৎ-প্রবাহ দ্বারা সৃষ্ট চৌম্বককে এর প্রদর্শনের একটি পরীক্ষা দাও।

একটি বৃত্তাকার পরিবাহীর পৃষ্ঠের মেরু কিভাবে তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখের উপর নির্ভরশীল তাহা দেখাও।

[ (a) How would you demonstrate magnetic effect produced by a current through a straight conductor ? Draw lines of force and indicate their directions.

(b) Describe an experiment to show that magnetic field is produced by current through a circular conductor.

How does the polarity of the surfaces of the circular conductor depend on the direction of current ? ]

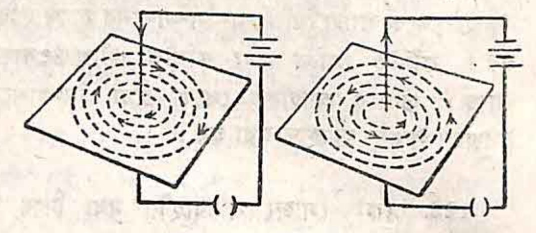
● **সোজা পরিবাহীর জন্য চৌম্বকক্ষেত্র (Magnetic Field due to Straight Conductor) :**

কোন সোজা পরিবাহীকে (যথা—মোটা তামার তার) একটি কার্ডবোর্ডের মধ্য দিয়ে চালিয়ে খাড়াভাবে রাখা হ'ল। অর্থাৎ, কার্ডবোর্ড ও পরিবাহীর মধ্যেকার কোণের মান 90° হ'ল। কিছু লোহাচুর বোর্ডটির উপর ছড়িয়ে দিয়ে পরিবাহীর মধ্য দিয়ে তড়িৎ-প্রবাহ ঘটালে, লোহাচুরগুলি এর চারপাশে বিভিন্ন সমকেন্দ্রিক গোলাকার পথে সজ্জিত হয়ে যায়। পরিবাহী ও কার্ডবোর্ডের ছেদবিন্দুই এই বৃত্তগুলির কেন্দ্র। অনেক সময় বোর্ডটিকে সামান্য কাঁপাতে হয়। লোহাচুরগুলি নির্দিষ্ট পথে সজ্জিত হয়ে গেলেও, এরা পরিবাহীর গায়ে লেগে থাকে না। অর্থাৎ, **তড়িৎবাহী তার নিজে চুম্বক হয় না, অথচ এটি চৌম্বকক্ষেত্রের সৃষ্টি করে।**

লোহাচুরের বদলে কম্পাস-কাঁটা বসিয়ে বলরেখা আঁকলে চিত্রের মতো [ fig. 158 (i) ও fig. 158 (ii) ] বলরেখা পাওয়া যাবে। এই বলরেখাগুলি বদ্ধ-

মুখ ( closed ) যুক্ত। সাধারণ চুম্বকের মতো এরা উত্তর মেরু থেকে সরু হয়ে দক্ষিণ মেরুতে গিয়ে শেষ হয় না। লক্ষ্য করলে দেখা যাবে যে, তড়িৎ-প্রবাহের দিক বদলালে বলরেখার অভিমুখ বদলিয়ে যায়।

এই প্রসঙ্গে মনে রাখতে হবে যে, পরিবাহীর মধ্য দিয়ে তড়িৎ-প্রবাহের জন্য সৃষ্ট এই চৌম্বকক্ষেত্রে দুটি চৌম্বক-ক্ষেত্রের লব্ধি ( resultant )। একটি পরিবাহীতে তড়িৎ-প্রবাহের জন্য সৃষ্ট চৌম্বক-ক্ষেত্র এবং অপরটি পৃথিবীর চৌম্বকত্বের জন্য চৌম্বক-ক্ষেত্র। পরিবাহীর খুব কাছে **পৃথিবীর চৌম্বকত্বের প্রভাব প্রায় থাকেই না** ; আবার পরিবাহী থেকে বেশ কিছু দূরে **তড়িৎ-প্রবাহের জন্য সৃষ্ট চৌম্বকত্বের কোন প্রভাব থাকে না** বললেই চলে ; এদের মাঝামাঝি কোন এক জায়গার উভয় চৌম্বকক্ষেত্রের মান সমান ও বিপরীত হয়ে 'উদাসীন বিন্দু'র সৃষ্টি করে।



(i) Fig. 158 (ii)

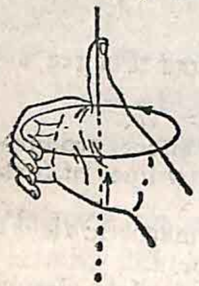


Fig. 159

তড়িৎ-প্রবাহের জন্য সৃষ্ট চৌম্বকক্ষেত্রের বলরেখার দিক বা অভিমুখ কিরকম হবে, তা **ফ্লেমিং-এর দক্ষিণ অঙ্গুষ্ঠ সূত্র ( Fleming's right thumb rule ) অথবা ম্যাক্সওয়েলের কর্ক-স্ক্রু সূত্র ( Maxwell's cork-screw** ru e ) থেকে জানা যায়। সূত্রগুলি এরকম ঃ

1. **ফ্লেমিং এর দক্ষিণ অঙ্গুষ্ঠ সূত্র** ( Fleming's right thumb rule ) ঃ হাত মুঠো ক'রে ডান হাতের অঙ্গুষ্ঠ প্রসারিত করা হ'ল। যদি অঙ্গুষ্ঠ তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখ বোঝায়, তবে অন্য আঙুলগুলির মাথা বলরেখার দিক নির্দেশ করবে ( fig. 159 )

এই নিয়মটি প্রয়োগ ক'রে তড়িৎ-প্রবাহ উপরদিকে বা নীচের দিকে হলে, বলরেখার অভিমুখ যথাক্রমে ঘড়ির কাঁটার আবর্তের বিপরীত দিক বা ঘড়ির কাঁটার আবর্তের দিকে হবে। বলরেখার অভিমুখ তীরচিহ্ন দিয়ে উপরের চিত্র দুটিতে [ fig. 158 (i) ও fig. 158 (ii) ] দেখানো হয়েছে।

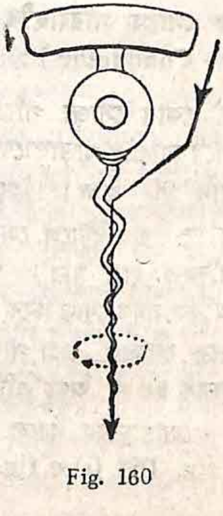


Fig. 160

2. **ম্যাক্সওয়েলের কর্ক-স্ক্রু সূত্র** (Maxwell's cork-screw rule ) ঃ বোতলের ছিপি খুলবার যন্ত্রকে কর্ক-স্ক্রু বলে। ডানদিকে ( অর্থাৎ, ঘড়ির কাঁটার ঘোরার দিকে ) ঘোরালে, এর সামনের ছুঁচালো মুখ ছিপির ভিতর প্রবেশ করে। ডানহাত দিয়ে একটি কর্ক-স্ক্রুকে পরিবাহী তারের

সঙ্গে সমান্তরালভাবে ধরে যদি এমনভাবে ঘোরানো যায় যে, এর সামনের অংশ তড়িৎপ্রবাহের দিকে এগিয়ে যায়, তাহলে ডানহাতের অঙ্গুষ্ঠ যে-দিকে ঘুরবে, কম্পাস-কাঁটা অথবা চুম্বক-শলাকার উত্তর মেরু সেই দিকে ঘুরবে ( fig. 160 )।

## ● বৃত্তাকার পরিবাহীর জন্য চৌম্বকক্ষেত্র ( Magnetic Field due to a Circular Conductor ) ঃ

একটি কার্ডবোর্ডে দুটি ছিদ্র ক'রে কোন গোলাকার ধাতব তার ছিদ্রদ্বয়ের মধ্য দিয়ে নিয়ে, খাড়াভাবে রাখা হ'ল। একটি কোষ ও একটি চাবি তারের সঙ্গে যোগ ক'রে, একটি পূর্ণ বর্তনী ( complete circuit ) তৈরি করা হ'ল। এখন ধাতব তারের মধ্য দিয়ে তড়িৎ-প্রবাহ হলে কম্পাস-কাঁটার সাহায্যে যদি এর চারপাশে বলরেখা আঁকা যায়, তাহলে নীচের চিত্রের (fig. 161) মতো বলরেখা পাওয়া যাবে ; বলরেখার দিক ফ্লেমিং-এর দক্ষিণ অঙ্গুষ্ঠ সূত্র অথবা ম্যাক্সওয়েলের কর্ক-স্ক্রু সূত্র থেকে পাওয়া যাবে। বলরেখাগুলির প্রকৃতি লক্ষ্য করলে দেখা যাবে, তারের কেন্দ্রাংশে বলরেখাগুলি প্রায় সমান্তরাল ও খুব কাছাকাছি। অতএব, কেন্দ্রের কাছে চৌম্বক-ক্ষেত্রে সুষম ( uniform ) এবং অন্যান্য স্থানের তুলনায় প্রবল। লক্ষ্য করলে আরও দেখা যাবে যে, বলরেখাগুলি তাদের তলের সঙ্গে লম্বভাবে আছে।

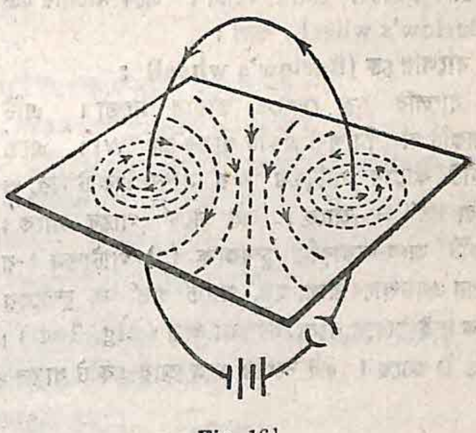


Fig. 161

বৃত্তাকার পরিবাহীর বাইরে বলরেখাগুলির সজ্জার ধরন দেখে মনে করা যেতে পারে যে, এটি যেন একটি চুম্বকিত লোহার চাক্‌তি, যার এক পৃষ্ঠে উত্তর মেরু ও অপর পৃষ্ঠে দক্ষিণ মেরু। এই ধরনের চুম্বকিত পাতকে **চৌম্বক শেল** ( magnetic shell ) বলে। সেজন্য যদি ঐ তারটিকে চোখের সামনে ধরা হয়, তাহলে যে দিকে তড়িৎ-প্রবাহ ঘড়ির কাঁটা ঘোরার উল্টোদিকে হয়, সেই দিক উত্তর মেরুর মতো ব্যবহার করে ; আর, যে দিকে তড়িৎ-প্রবাহ ঘড়ির কাঁটার দিকে হয়, সেই দিক দক্ষিণ মেরুর মতো ব্যবহার করে। অতএব, **কোন তারের মধ্য দিয়ে তড়িৎ-প্রবাহ হলে সেটি একটি চুম্বকিত চাক্‌তির মতো ব্যবহার করে** [fig. 162 ]।

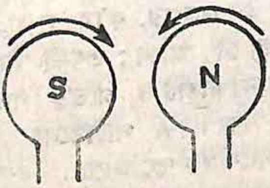



Fig. 162

123. ফ্লেমিং-এর বামহস্ত সূত্র বিবৃত এবং ব্যাখ্যা কর।
বার্লোর চক্রের কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর।

[ State and explain Fleming's Left hand Rule. Explain the action of Barlow's wheel. ]

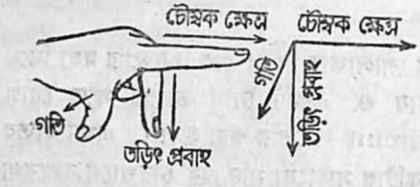



Fig. 163

● **ফ্লেমিং-এর বামহস্ত সূত্র (Fleming's Left-hand Rule)।** বাঁহাতের মধ্যমা, তর্জনী ও অঙ্গুষ্ঠকে পরস্পরের সমকোণে রেখে বাঁ হাতটিকে ধরতে হবে। যদি তর্জনী বলক্ষেত্রের দিক এবং মধ্যমা তড়িৎ-প্রবাহের দিক নির্দেশ করে, তাহলে অঙ্গুষ্ঠ পরিবাহী তারের গতির দিক নির্দেশ করে (fig 163)।

তড়িৎ-প্রবাহের উপর যে চুম্বকের ক্রিয়া হয়ে থাকে, তা **বার্লো** (Barlow) একটি যন্ত্রের সাহায্যে প্রমাণ করেন। একে **বার্লোর চক্র** (Barlow's wheel) বলে।

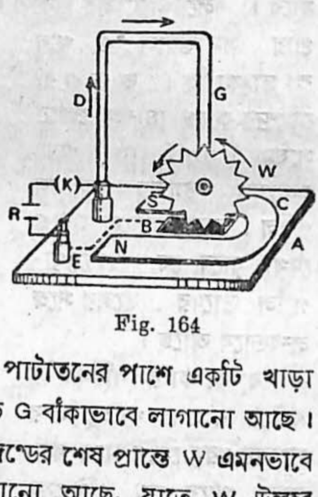



Fig. 164

● **বার্লোর চক্র (Barlow's wheel)** ঃ

বার্লোর চক্র দেখতে তারার মতো। এটি কয়েকটি দাঁত বিশিষ্ট একটি ধাতব-চক্র (W)। এতে একটি কাঠের পাটাতন A-র মধ্যে একটি সরু ও লম্বা গর্ত B আছে। এই গর্তে পারদ থাকে। একটি অশ্ব-খুরাকৃতি চুম্বককে (C) পাটাতন A-র উপর এমনভাবে রাখা হয়, যাতে গর্ত B চুম্বকের ঠিক দুই বাহুর মধ্যে অবস্থান করে (fig. 164)। পাটাতনের পাশে একটি খাড়া দণ্ড D আছে। এই দণ্ডের সঙ্গে আর একটি ধাতব দণ্ড G বাঁকাভাবে লাগানো আছে। ধাতব দণ্ডের শেষ প্রান্তে W এমনভাবে আটকানো আছে, যাতে W উল্লম্ব তলে বিনা বাধায় ঘুরতে পারে। চক্রের ঘূর্ণনের ফলে এর প্রত্যেকটি দাঁত এক-একবার ক'রে সর্বনিম্ন অবস্থানে আসে; তখনই নিম্নতম অবস্থানের দাঁতটি B গর্তের পারদকে স্পর্শ করে। A পাটাতনের উপর দুটি সংযোজক স্ক্রু আছে। E-স্ক্রুটি পারদের সঙ্গে যুক্ত এবং এটি একটি ব্যাটারী R-এর সঙ্গে যুক্ত হয়েছে (উপরের চিত্র [fig. 164] দ্রষ্টব্য)।

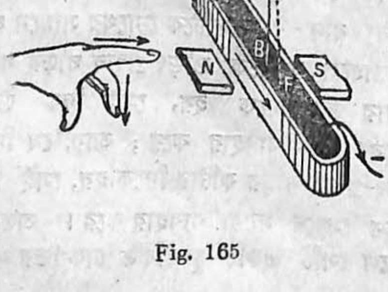



Fig. 165

ব্যাটারী সম্পূর্ণ করলে, চক্রের কেন্দ্র এবং পারদের মধ্য দিয়ে তড়িৎ-প্রবাহ হবে। প্রদত্ত চিত্রানুযায়ী ( fig. 165 ) প্রবাহের অভিমুখ হবে উপর থেকে নীচের দিকে। যদি তড়িৎপ্রবাহ চক্রকেন্দ্র থেকে পারদের দিকে হয় এবং চুম্বকের অবস্থান যদি চিত্রানুযায়ী হয়ে থাকে, তাহলে চক্রের ঘূর্ণন ঘড়ি কাঁটার ঘোরার বিপরীত দিকে হবে। ( নিজের বাঁ হাতের আঙুলগুলি ফ্লেমিং-এর বাম হস্ত সূত্রের মতো ক'রে 164নং চিত্রের সঙ্গে মিলিয়ে ধরলে ঘটনাটি ভালো বোঝা যাবে। ) যদি চুম্বকের মেরুর অথবা তড়িৎ-প্রবাহের দিক উল্টিয়ে দেওয়া যায়, তবে চক্রের ঘূর্ণনের দিক ঘড়ির কাঁটার ঘোরার দিকে হবে।

আর একটি চিত্রে (fig. 165) বার্লোর চক্রের একটি অংশবিশেষ দেখানো হয়েছে। এর পাশেই আছে ফ্লেমিং-এর বামহস্ত সূত্রের ছবি। পরিবাহী তারের মধ্য দিয়ে তড়িৎ-প্রবাহ উপর থেকে নীচ বরাবর হচ্ছে। চুম্বকের বলরেখা উত্তর মেরু থেকে দক্ষিণ মেরুর দিকে যায়; সেজন্য বলরেখার অভিমুখ হ'ল NS-বরাবর। এইবার বাঁদিকে ফ্লেমিং-এর বাঁ হাতের ছবির সঙ্গে তুলনা করলে সহজেই বোঝা যাবে যে, পরিবাহীটি BF-বরাবর চলে আসবে।

**124.** ট্যানজেণ্ট গ্যালভানোমিটারের কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর।
ম্যাগনেটোমিটারের জন্য ক্ষুদ্র চুম্বক পছন্দ করা হয়। কেন?
[ Explain the principle of action of Tangent Galvanometer. Why will you select small magnet for the magnetometer.

● **ট্যানজেণ্ট গ্যালভানোমিটার ( Tangent Galvanometer)**

**সংজ্ঞা ঃ** যে যন্ত্রের সাহায্যে **তড়িৎ-প্রবাহের মাত্রা বিক্ষেপের ট্যানজেণ্টের রূপে** প্রকাশ করা হয়, তাকে ট্যানজেণ্ট গ্যালভানোমিটার বলা হয়।

এর একটি ছবি (fig. 166 ) দেখানো হ'ল।

এই যন্ত্রের নীচের অংশে একটি গোলাকৃতি কাঠের পাটাতন A থাকে। এই পাটাতনের নীচে তিনটি লেভেলিং স্ক্রু থাকে, যাদের সাহায্যে পাটাতনটিকে আনুভূমিক করা যায়। পাটাতন A-র গায়ে একটি অংশাঙ্কিত বৃত্তাকার স্কেল S থাকে। স্কেলের কেন্দ্র ও পাটাতনের কেন্দ্র একই বিন্দুতে অবস্থিত। স্কেলটিতে 0°—360° ঘর পর্যন্ত অংশাঙ্কন থাকে। পাটাতনের কেন্দ্র থেকে উল্লম্বভাবে (vertically) একটি গোল ফ্রেম ও করা থাকে। ফ্রেমটি খাঁজ-কাটা এবং খাঁজের ভিতরে কয়েক পাক অন্তরিত তামার তার জড়ানো থাকে। ঐ জড়ানো তারের দুই প্রান্ত সংযোজক স্ক্রু E, F-এর সঙ্গে যোগ করা হয়। B-কে A পাটাতনের উপর উল্লম্বভাবে ঘোরানো যেতে পারে। কত ডিগ্রী ঘুরলো, সেটা জানবার জন্য পাটাতন A-র গায়ে P সূচকটি থাকে। সূচকটি (P) স্কেল S-এর গায়ে যত ডিগ্রী পরিমাণ ঘোরে, ফ্রেমটি পাটাতন A-র উপর তত ডিগ্রী ঘুরে

যায়। উল্লম্ব ফ্রেম B-এর মধ্যে ভূমির সমান্তরাল একটি কাচের গোলপাত্র C থাকে। এর কেন্দ্র B-র কেন্দ্রের সঙ্গে সম-কেন্দ্রিক। C-র মধ্যে আনুভূমিকভাবে একটি বৃত্তাকার স্কেল D আটকানো থাকে। স্কেলটি সমান চারটি ভাগে বিভক্ত। প্রত্যেক ভাগে 0°—90° ঘর পর্যন্ত অংশাঙ্কিত থাকে। C-র কেন্দ্রে একটি অতি ক্ষুদ্র শক্তিশালী চুম্বক-শলাকা N-S আটকানো থাকে। N-S চুম্বক-শলাকটি একটি তীক্ষ্ম সূচীমুখের (pivot) উপর অবস্থিত। G একটি হাল্কা অ্যালুমিনিয়াম কাঁটা, যেটি N-S-এর সঙ্গে সমকোণে দৃঢ়ভাবে আটকানো এবং সেটি স্কেল D-র উপর বিনা বাধায় ও একে স্পর্শ না ক'রে ঘুরতে পারে। অ্যালুমিনিয়াম কাঁটাটির সাহায্যে চুম্বক-শলাকার বিক্ষেপ বার করতে পারা যায়। লম্বন-ত্রুটি (parallax error) না ঘটিয়ে, বিক্ষেপ নির্ভুলভাবে মাপবার জন্য G-র নীচে একটি পাতলা সমতল আয়না রাখা হয়। চিত্রে এটা দেখানো হয়নি।

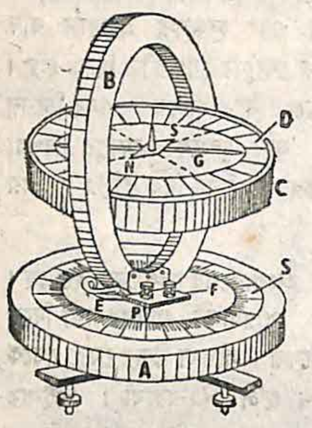


Fig. 166

যন্ত্রটি ব্যবহার করার আগে লেভেলিং স্ক্রু-র সাহায্যে পাটাতন A-কে আনুভূমিক করতে হবে। স্পিরিট লেভেলের সাহায্যে এটি বোঝা যাবে। B ফ্রেমটিকে ঘুরিয়ে চুম্বক-শলাকা N-S-এর তলের সঙ্গে ফ্রেমটিকে মিলিয়ে রাখতে হবে। লক্ষ্য রাখতে হবে, যাতে অ্যালুমিনিয়াম সূচক G-এর অবস্থান, এইরকম অবস্থায় D স্কেলের 0°—0° দাগের সঙ্গে মিলে থাকে।

**মূল নীতি ঃ** তড়িৎ-প্রবাহের জন্য চক্রাকার পরিবাহীর কেন্দ্রে যে চৌম্বক প্রাবল্যের সৃষ্টি হয়, তার মান, লাপ্লাসের সূত্র (Laplace's law) থেকে নির্ণয় করা যায়।

অর্থাৎ, $F=\frac{lC}{r^2}$ থেকে,

তারটি বৃত্তাকার ব'লে $l=2\pi r$ (বৃত্তের ব্যাসার্ধ $=r$ ধরা হয়েছে)।

তাহলে, $F'=\frac{2\pi rC}{r^2}=\frac{2\pi C}{r}$.

যদি এরকম $n$-টি তার জড়ানো থাকে, তাহলে,

মোট প্রাবল্য $=F=\frac{2\pi nC}{r}$ হবে। (1)

দ্রষ্টব্য ঃ একটি পাকের জন্য প্রাবল্যকে $F'$ এবং $n$-টি পাকের জন্য প্রাবল্যকে F ধরা হয়েছে।

আবার, ধরা যাক, অত্যন্ত ক্ষুদ্র কোন চুম্বক-শলাকা CD, O বিন্দুতে একটি

ছুঁচালো মুখের উপর আছে। যদি সমবল চৌম্বকক্ষেত্রে সেটি থাকে, তাহলে সেটি ঐ স্থানের চৌম্বক মধ্যতলে অবস্থিত থাকবে। চুম্বক-শলাকার মেরু-শক্তি $m$ ও ঐ স্থানের চৌম্বক-প্রাবল্য H হলে, এতে OC অভিমুখে $m$H এবং OD অভিমুখে $m$H বল কাজ ক'রে শলাকাটিকে সাম্য অবস্থায় রাখবে।

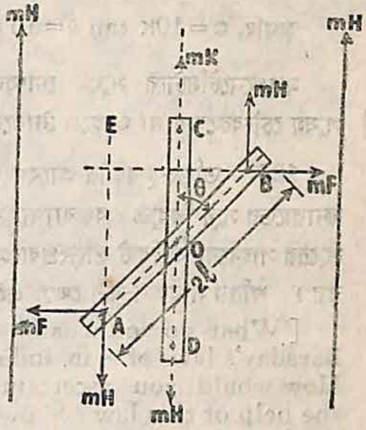


Fig. 167

এখন, সমকোণে F প্রাবল্যের ফলে শলাকাটি যদি $\theta^{\circ}$ ঘোরে এবং এর অবস্থিতি AB হয়, তবে শলাকার এই অবস্থানে এতে দুটি সমান দ্বন্দ্ব প্রযুক্ত হয়ে এর সাম্যাবস্থা ঠিক রাখবে। $m$H বল-বিশিষ্ট দ্বন্দ্ব (restoring couple) শলাকাকে চৌম্বক মধ্যতলের দিকে ফিরিয়ে আনবার চেষ্টা করে এবং $m$F বল-সম্পন্ন দ্বন্দ্ব (deflecting couple) মধ্যতল থেকে শলাকাকে আরো দূরে নিয়ে যেতে চেষ্টা করে। সাম্য অবস্থায় উভয় দ্বন্দ্বের ভ্রামকের মান সমান (fig. 167)।

অর্থাৎ, $m\text{H}.\text{BE} = m\text{F}.\text{AE}$

বা, $\text{H}.2l \sin\theta = \text{F}.2l\cos\theta$ [ $2l$ চৌম্বক-দৈর্ঘ্য ]

$$\text{F} = \text{H}.\tan\theta. \quad (2)$$

H হ'ল পৃথিবীর চুম্বকত্বের প্রাবল্যের আনুভূমিক উপাংশ।

(1) ও (2) থেকে, $\dfrac{2\pi n\text{C}}{r} = \text{H}\tan\theta.$

$2\pi n/r$ কে **গ্যালভানোমিটার ধ্রুবক** (galvanometer constant) বলা হয় এবং একে G দ্বারা সূচিত করা হয়।

**সংজ্ঞা :** একক তড়িৎ প্রবাহের জন্য কোন বৃত্তাকার কুণ্ডলীর কেন্দ্রে চৌম্বক প্রাবল্যের মানকে গ্যালভানোমিটার ধ্রুবক বলে।

$$\therefore \quad \text{C} = \frac{\text{H}}{\text{G}}\tan\theta.$$

$\dfrac{\text{H}}{\text{G}}$-কে **নির্ণায়ক উৎপাদক** (reduction factor) বলে এবং K দ্বারা একে সূচিত করা হয়।

$$\therefore \quad \text{C} = \text{K}\tan\theta \quad \text{e. m. u.}$$

এই গণনায় তড়িৎপ্রবাহ তড়িৎ-চুম্বকীয় এককে মাপা হয়েছে।

1 e. m. u. = 10 amp. ব'লে $C = 10K \tan\theta$ amp. (3)

অর্থাৎ, $C = 10K \tan\theta = 10 \times \frac{H}{G} \tan\theta = 10 \times \frac{Hr}{2\pi n} \tan\theta$ (4)

ম্যাগনেটোমিটারে সুষম চৌম্বকক্ষেত্র পাওয়ার জন্য ক্ষুদ্র চুম্বক লওয়া হয়। সুষম চৌম্বকক্ষেত্র না থাকলে ট্যানজেণ্ট সূত্র প্রযোজ্য হবে না।

**125.** তড়িৎ-চুম্বকীয় আবেশ বলতে কি বুঝ? তড়িৎ-চুম্বকীয় আবেশ সংক্রান্ত ফ্যারাডের সূত্র বিবৃত এবং ব্যাখ্যা কর। লেনজ্-এর সূত্র বিবৃত এবং ব্যাখ্যা কর। এই সূত্রের সাহায্যে আবিষ্ট তড়িৎপ্রবাহের অভিমুখ কিভাবে পাওয়া যায়, তাহা ব্যাখ্যা কর। শক্তির সংরক্ষণ-সূত্র থেকে এই সূত্র কিভাবে প্রতিষ্ঠা করা যায়, তাহা দেখাও।

[ What do you mean by e. m. induction ? State and explain Faraday's laws of e. m. induction. State and explain Lenz's law. How would you ascertain the direction of induced current with the help of this law ? Show how can this law be established from the law of conservation of energy. ]

● **তড়িৎ-চুম্বকীয় আবেশ ঃ**

বৈজ্ঞানিক অয়্যারস্ট্যাড (Oersted) যখন আবিষ্কার করেন যে, তড়িৎ প্রবাহের ক্রিয়ায় চৌম্বকক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়, তখন থেকেই বিজ্ঞানীরা চৌম্বকক্ষেত্রের জন্য তড়িৎ-প্রবাহের সৃষ্টি হয় কি-না, তা পরীক্ষা করতে চেষ্টা করেছিলেন। এইরকম চেষ্টার ফলে বৈজ্ঞানিক ফ্যারাডে 1831 খ্রীষ্টাব্দে আবিষ্কার করেন যে, বন্ধ কুণ্ডলীতে কোন কারণে চৌম্বকক্ষেত্রের হ্রাস-বৃদ্ধি ঘটলেই তড়িৎ-প্রবাহের উৎপত্তি ঘটে। এই ঘটনাকেই **তড়িৎ-চুম্বকীয় আবেশ** বলা হয়।

● **ফ্যারাডের সূত্র (Faraday's Laws) ঃ**

আবিষ্ট তড়িৎ সম্বন্ধে গবেষণা ক'রে ফ্যারাডে দুটি সূত্র বার করেন। সূত্র-দুটি এ-রকম ঃ

**প্রথম সূত্র ঃ** যখনই কোন বন্ধ কুণ্ডলীতে চৌম্বক বলরেখার মোট সংখ্যার পরিবর্তন ঘটে, তখনই কুণ্ডলীতে একটি ক্ষণস্থায়ী তড়িৎ-প্রবাহের সৃষ্টি হয়।

এইভাবে যে তড়িৎ-প্রবাহ সৃষ্টি হয়, তাকে আবিষ্ট তড়িৎ-প্রবাহ বলে। আবিষ্ট তড়িৎ-প্রবাহের স্থায়িত্ব ততক্ষণই হবে, যতক্ষণ কুণ্ডলীতে চৌম্বক-বলরেখার মোট সংখ্যার পরিবর্তন ঘটবে। জড়ানো বলরেখার সংখ্যা-বৃদ্ধিতে প্রবাহ যে দিকে ঘটে, সংখ্যা-হ্রাসে প্রবাহের অভিমুখ ঠিক তার বিপরীত দিকে হয়।

**দ্বিতীয় সূত্র ঃ** আবিষ্ট তড়িৎ-প্রবাহের মান অর্থাৎ আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল কুণ্ডলীতে জড়ানো চৌম্বক বলরেখার সংখ্যার পরিবর্তনের হারের সমানুপাতিক।

এই সূত্র-দুটিকে ফ্যারাডের **তড়িৎ-চুম্বকীয় আবেশের সূত্র** ( Faraday's laws of electro-magnetic induction) বলা হয়ে থাকে।

যে-কোন সময়ে বর্তনীর সঙ্গে জড়ানো মোট চৌম্বক-বলরেখার সংখ্যা যদি $N_1$ হয় এবং বর্তনীতে $t$ সময় বাদে যদি জড়ানো বলরেখার সংখ্যা $N_2$ হয়, তবে $t$ সময়ে পরিবর্তিত বলরেখার সংখ্যা $N_2 - N_1$। অতএব, বর্তনীতে বলরেখার পরিবর্তনের হার $\frac{N_2 - N_1}{t}$। ফ্যারাডের দ্বিতীয় সূত্র অনুসারে বর্তনীতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল E হলে,

$$E \propto \frac{N_2 - N_1}{t} \quad \text{বা,} \quad E = K\frac{N_2 - N_1}{t}$$

এখানে K একটি ধ্রুবক। তড়িৎ-চুম্বকীয় এককে K-র মান 1 হয়।

$$\text{সুতরাং,} \quad E = \frac{N_2 - N_1}{t} = \frac{N}{t}$$

এখানে $N_2 - N_1 = N = t$ সময়ে পরিবর্তিত চৌম্বক-বলরেখার সংখ্যা।

● **লেন্‌জ্‌-এর সূত্র (Lenz's Law) :**

ফ্যারাডের সূত্র থেকে চৌম্বকক্ষেত্র সৃষ্টির ফলে যে প্রবাহ উৎপন্ন হয়, তা জানা যায়। কিন্তু এই সৃষ্ট প্রবাহের অভিমুখ কোন্ দিকে হবে, তা বৈজ্ঞানিক লেন্‌জ্‌ আবিষ্কার করেন।

**সূত্র :** যে-কোন রকম তড়িৎচুম্বকীয় আবেশে বন্ধ কুণ্ডলীতে আবিষ্ট তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখ এরকম হবে যে, সেটি উৎপন্ন হওয়া মাত্রই এর সৃষ্টিকারী সকল রকম কারণকে বাধা দান করবে।

যদি কোন চুম্বকের উত্তর মেরু কোন বন্ধ তারের দিকে এগিয়ে নেওয়া হয় (fig. 168), তাহলে ফ্যারাডের সূত্রানুযায়ী, তারের মধ্য দিয়ে তড়িৎ-প্রবাহের উৎপত্তির কারণে চুম্বক-মেরুর মধ্যে গতিশক্তির আবির্ভাব হচ্ছে এবং সেই শক্তি তড়িৎ-শক্তিতে রূপান্তরিত হচ্ছে। লেন্‌জ্‌-এর সূত্রানুযায়ী উত্তর মেরুর সামনে তারের কুণ্ডলীর যে-অংশ আছে, তাতে উত্তর মেরুর সৃষ্টি হওয়া উচিত ; কারণ, এই সৃষ্ট উত্তর মেরু ও চুম্বকের উত্তর মেরু—উভয়ের মধ্যে বিকর্ষণ হবে।

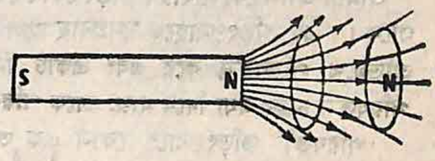



Fig. 168

উত্তর মেরু সৃষ্টি হওয়ার ফলে তড়িৎ-প্রবাহের দিক ঘড়ির কাঁটার আবর্তনের বিপরীত দিকে হবে।

অতএব, লেন্‌জ্‌-এর সূত্র অনুযায়ী আমরা পাই,

$$\text{তড়িচ্চালক বল} = -\frac{N}{t}$$

অনেক সময় লেন্‌জ্‌-এর সূত্রকে তড়িৎ-চুম্বকীয় আবেশের তৃতীয় সূত্র বলে।

**শক্তির নিত্যতা থেকে লেন্‌জ সূত্রের ব্যাখ্যা ( Explanation of Lenz's Law from Conservation of Energy )**

যদি আমরা একটি দণ্ড-চুম্বকের N মেরুকে একটি জড়ানো তারের কুণ্ডলীর দিকে

নিয়ে যাই, তাহলে তড়িৎ-চৌম্বক আবেশের ফলে কুণ্ডলীতে তড়িৎ-প্রবাহের উৎপত্তি হবে। এই তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখ এমন হবে যে, এটা N মেরুর অগ্রসরকে বাধা দেবে। অতএব, N মেরুর সম্মুখবর্তী কুণ্ডলীর তলে N মেরুর উদ্ভব হবে ( fig. 168 ) আবার, N মেরুকে কুণ্ডলী থেকে সরিয়ে নিলে কুণ্ডলীতে তড়িৎ-প্রবাহ আবিষ্ট হবে। এই প্রবাহের অভিমুখ এমন হবে যে, দণ্ড-চুম্বকের পশ্চাদগমন বাধা পাবে। এর ফলে কুণ্ডলীর সম্মুখ তলে S মেরুর উদ্ভব হবে। আপাতদৃষ্টিতে মনে হয়, তড়িৎ-শক্তি সৃষ্টি করবার জন্য অন্য কোন শক্তি ব্যয় করা হচ্ছে না, কিন্তু তা সত্যি নয়; কারণ, দণ্ড-চুম্বককে কুণ্ডলীর দিকে নিয়ে যাবার সময় দুই সমমেরুর ভিতর বিকর্ষণ-জনিত বাধার বিরুদ্ধে সরাতে হবে এবং কুণ্ডলী থেকে দূরে নিয়ে যাবার সময় দুই বিষম মেরুর আকর্ষণ-জনিত বলের বিরুদ্ধে সরিয়ে নিতে হবে। এই যান্ত্রিক শক্তিই তড়িৎ-শক্তিতে রূপান্তরিত হয়ে কুণ্ডলীতে তড়িৎ-প্রবাহের সৃষ্টি করে। যদি N মেরুকে কুণ্ডলীর দিকে নিয়ে যাওয়ার ফলে কুণ্ডলীর সম্মুখভাগে S মেরু উৎপন্ন হ'ত, তাহলে আমরা কোন শক্তি ব্যয় না ক'রে অনন্ত গতির সৃষ্টি করতে পারতাম, কিন্তু শক্তির সংরক্ষণ-সূত্র অনুযায়ী এটা কোনমতেই সম্ভব নয়। সুতরাং দেখা যাচ্ছে, শক্তির সংরক্ষণ-সূত্র থেকে আমরা লেনজ্-এর সূত্র ব্যাখ্যা করতে পারি।

126. পরিবর্তী তড়িচ্চালক বল এবং প্রবাহ বলতে কি বুঝ ?
পরিবর্তী প্রবাহ সৃষ্টি করবার জন্য একটি সরল পদ্ধতি বর্ণনা কর।

[What do you mean by alternating emf and current ? Describe a simple method for the production of alternating current. ]

● **পরিবর্তী তড়িৎ-প্রবাহ (Alternating Current ) :**

আমরা জানি যে, সাধারণ তড়িৎ-কোষ থেকে সৃষ্ট তড়িৎপ্রবাহ সর্বদা একই অভিমুখে থাকে। এই তড়িৎপ্রবাহকে **সমপ্রবাহ** বলে। কিন্তু যে তড়িৎপ্রবাহ মাত্রায় পর্যায়ক্রমে অভিমুখ পরিবর্তন করে এবং একটি নির্দিষ্ট সময়ের ব্যবধানে একটি নির্দিষ্ট পরিবর্তন চক্রের মধ্য দিয়ে যায়, তাকে **পরিবর্তী তড়িৎপ্রবাহ** বলে। ( fig. 169 )।

পরিবর্তী তড়িৎপ্রবাহে কোন এক অভিমুখে প্রবাহিত হওয়ার সময় প্রবাহমাত্রা ক্রমশঃ বৃদ্ধি পেয়ে সর্বোচ্চ মানে, আবার, ক্রমশঃ হ্রাস পেয়ে সর্বনিম্ন মানের হয়।

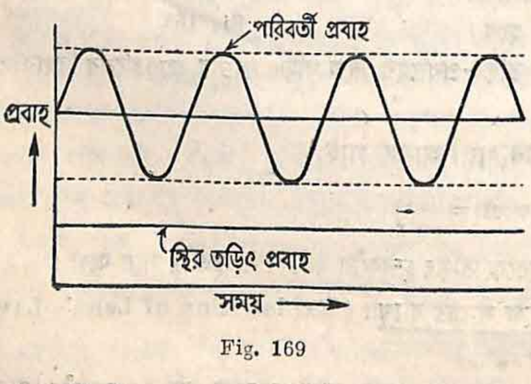


Fig. 169

একটি পরিবর্তী তড়িৎ-প্রবাহকে নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায় :—

$$I = I_0 \sin pt$$
$$= I_0 \sin 2\pi ft.$$

যেখানে $p$ = স্পন্দাঙ্ক = $2\pi f$, $f \rightarrow$ কম্পাঙ্ক, $I_0$ = পরিবর্তী তড়িৎ-প্রবাহের সর্বোচ্চ মান।

**● পরিবর্তী তড়িচ্চালক বল ঃ**

কোন তড়িৎ-বর্তনীতে পরিবর্তী তড়িৎ-প্রবাহ পেতে গেলে একটি পরিবর্তী তড়িচ্চালক বল প্রয়োগ করতে হয়। পরিবর্তী তড়িৎ-প্রবাহের ন্যায় পরিবর্তী তড়িৎ-চালক বলকে নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায় ঃ—

$$E = E_0 \sin pt$$
$$= E_0 \sin 2\pi ft.$$

যেখানে $E_0$ = পরিবর্তী তড়িচ্চালক বলের সর্বোচ্চ মান।

**পরিবর্তী তড়িৎ-প্রবাহের উৎপাদন ঃ**

ডায়নামো নামক যন্ত্রের সাহায্যে যান্ত্রিক শক্তির বিনিময়ে তড়িৎ-শক্তি সৃষ্টি করা যায়।

এই যন্ত্রের মূল নীতি হ'ল কোন চৌম্বকক্ষেত্রে ঘূর্ণায়মান পরিবাহী কুণ্ডলীতে চৌম্বক আবেশের দরুন তড়িচ্চালক বলের উদ্ভব হওয়া।

**মূল নীতি ঃ** মনে করা হ'ল, একটি চুম্বকের দুই মেরু N এবং S—H প্রাবল্যের একটি সুষম চৌম্বকক্ষেত্র উৎপন্ন করছে। একটি বদ্ধ কুণ্ডলী AB চৌম্বকক্ষেত্রের অভিলম্ব তলে অবস্থিত এবং কুণ্ডলীটি নিজস্ব আনুভূমিক অক্ষে $\omega$ কৌণিক বেগে ঘুরছে (fig. 170)। মনে করা হ'ল, কুণ্ডলীর পাক, সংখ্যা = $n$ এব উহার ক্ষেত্রফল = A। এখন, কুণ্ডলীর তল চৌম্বক-বলরেখায় অভিলম্ব হলে উহার মধ্য দিয়ে অতিক্রান্ত চৌম্বক বলরেখার সংখ্যা $\phi = n\text{AH}$. এখন, $t$-সময়ে কুণ্ডলীটি $\theta$ কোণেঘুরে $A_1B_1$ অবস্থানে গেলে অতিক্রান্ত চৌম্বক-বলরেখার সংখ্যা = $n\text{AH} \cos \theta$

$$= n\text{AH} \cos \omega t.$$

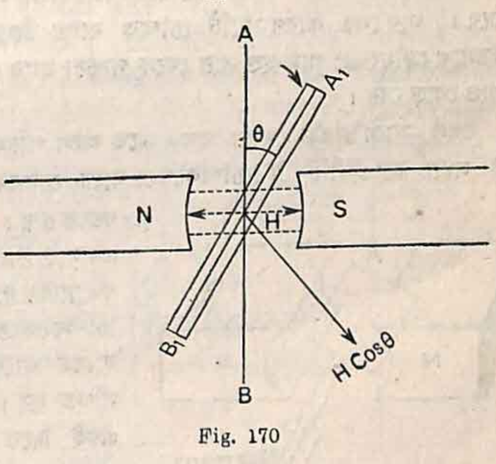


Fig. 170

চৌম্বক-আবেশ সংক্রান্ত ফ্যারাডের সূত্র থেকে আমরা জানি যে,

$$E = -\frac{d\phi}{dt}.$$

$$= -\frac{d}{dt}\left(n\text{AH} \cos \omega t\right)$$

$$= n\text{AH}\omega \sin \omega t.$$

$$= E_0 \sin \omega t.$$

যেখানে $E_0 = nAH\omega$ → আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের সর্বোচ্চ মান।

মনে করা হ'ল, কুণ্ডলীর রোধ = R

সুতরাং, যে-কোন মুহূর্তে $t$-তে তড়িৎ-প্রবাহ মাত্রা $I = \frac{E}{R} = \frac{E_0}{R} \sin \omega t$

বা, $I = I_0 \sin \omega t$

যেখানে $I_0 = \frac{E_0}{R}$ → তড়িৎ-প্রবাহের সর্বোচ্চ মান।

সুতরাং, আবিষ্ট তড়িৎ প্রবাহ হ'ল পরিবর্তী তড়িৎ প্রবাহ।

● **বৈদ্যুতিক মোটর (Electric Motor) ঃ**

বৈদ্যুতিক মোটরের গঠন-প্রণালী বৈদ্যুতিক ডায়নামোর মতোই। এতেও একটি আর্মেচার A থাকে। এটি একটি তড়িৎ-চুম্বকের (NS) ভিতরে থাকে। আর্মেচারের দুই প্রান্ত দুটি কম্যুটেটরের ( E, F ) সঙ্গে যুক্ত থাকে। আর্মেচার ঘূর্ণনক্ষম ; কিন্তু ঘূর্ণনকালে E ও F প্রান্তের সঙ্গে এর যোগাযোগ কখনই ছিন্ন হয় না ( fig. 171 )। E ও F প্রান্তে একটি তড়িৎ-কোষের (R) দুই প্রান্ত যোগ করা হ'ল। আর্মেচারের মধ্য দিয়ে তড়িৎ-প্রবাহ হতে দিলে দেখা যাবে যে, কুণ্ডলীটি ঘুরতে সুরু করবে। ঘূর্ণনের কারণ দুটি চৌম্বক বলের ক্রিয়ায় উদ্ভূত লব্ধি বল। ঘূর্ণনের অভিমুখ ফ্লেমিং-এর বাম-হস্ত সূত্র থেকে পাওয়া যাবে। তড়িৎ-প্রবাহ বাড়ালে ঘূর্ণনের বেগও বেড়ে যায়।

যখন আর্মেচারটি ঘোরে, তখন এতে অল্প পরিমাণ তড়িচ্চালক বল আবিষ্ট হয়। এই সময় কুণ্ডলীটি ঐ চৌম্বকক্ষেত্রে ঘুরে চৌম্বক-বলরেখার সঙ্গে নিজেকে স্থাপিত করতে চায়। কিন্তু কুণ্ডলী ঘোরার সঙ্গে সঙ্গে এর দুই প্রান্তের সঙ্গে যুক্ত অর্ধগোলক অর্থাৎ কম্যুটেটর-দুটিও ঘোরে। কুণ্ডলী-তল চৌম্বকক্ষেত্রের সঙ্গে 90° কোণ করা পর্যন্ত ঘুরতে থাকে। এই সময় এর কিছু ভরবেগ সঞ্চিত হয়। ফলে, কুণ্ডলীটি আরও একটু একই দিকে ঘুরে যায়। কুণ্ডলীর এই অবস্থায় ব্রাশ (E, F)ও কম্যুটেটর অংশের মধ্যে স্থান পরিবর্তন হয় এবং কুণ্ডলী ঘুরতে থাকে। এই সময় আবার কুণ্ডলী চৌম্বক-ক্ষেত্রের সঙ্গে সমকোণে স্থাপিত হতে সচেষ্ট হয়। এর ফলে, তড়িৎ-প্রবাহ কুণ্ডলীতে একই অভিমুখে চলতে থাকে।

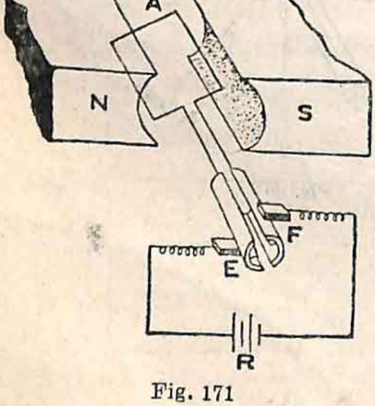


Fig. 171

বাড়ীতে ব্যবহৃত পাখা বৈদ্যুতিক মোটর ছাড়া আর কিছুই নয়। এর সঙ্গে ব্যবহৃত নিয়ামক বা রেগুলেটর (regulator) তড়িৎ-প্রবাহ নিয়ন্ত্রণ করে। এর ফলে,

ঘূর্ণনের বেগ নিয়ন্ত্রিত হয়। প্রবাহ বাড়লে ঘূর্ণন বাড়ে এবং প্রবাহ কমলে, ঘূর্ণন কমে।

**127.** একটি ডায়নামোর কার্যনীতি সংক্ষেপে আলোচনা কর।
[ Discuss in short the principle of action of a dynamo. ]

● **তড়িৎ-উৎপাদক বা ডায়নামো ( Generator or Dynamo ) :**

যে যন্ত্রের সাহায্যে যান্ত্রিক-শক্তি তড়িৎ-শক্তিতে রূপান্তরিত করা হয়, তাকে ডায়নামো বলে। একে আবার দুই ভাগে ভাগ করা হয়। যেমন—

(*a*) **পরিবর্তী ডায়নামো ( A. C. dynamo ) :**
এই রকম ডায়নামো থেকে পরিবর্তী প্রবাহ পাওয়া যায়।

(*b*) **একমুখী ডায়নামো ( D. C. dynamo ) :**
এই রকম ডায়নামো থেকে একমুখী এবং স্থির-প্রবাহ পাওয়া যায়।

**A. C. ডায়নামো ( A. C. dynamo ) :**

প্রদত্ত চিত্রে ( fig. 172 ) A C. ডায়নামোর একটি ছবি দেখানো হ'ল। এতে একটি চুম্বক NS থাকে। চুম্বকের মধ্যবর্তী স্থানে একটি কাঁচা লোহার উপর ABD একটি তারের আয়তাকার কুণ্ডলী থাকে। প্রকৃতপক্ষে এই কুণ্ডলীর সংখ্যা একের চেয়ে বেশী হয়, যারা প্রত্যেকেই পৃথক পৃথক তলে অবস্থান করে। কাঁচা লোহার

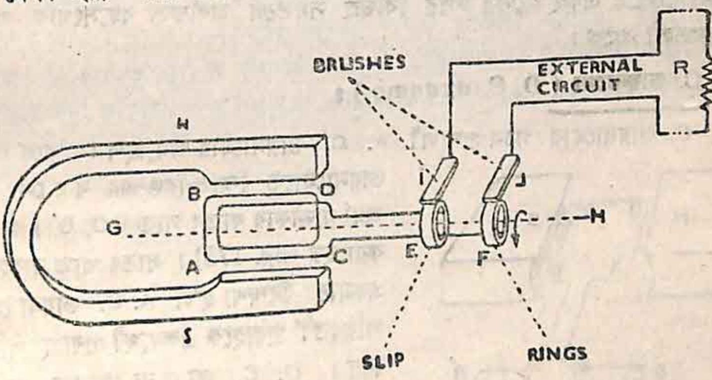



Fig. 172

পাতটিকে আর্মেচার বলা হয়। একে একটি চৌম্বকক্ষেত্রের মধ্যে ইঞ্জিনের সাহায্যে সমগতিতে ঘোরানো হয়। এই আয়তাকার কুণ্ডলীর দুই প্রান্ত দুটি স্লিপ-রিঙ E ও F-এর সঙ্গে যুক্ত। স্লিপ-রিঙ দুটি ধাতব পদার্থ দ্বারা তৈরী। আয়তাকার কুণ্ডলী এবং স্লিপ-রিঙ একই অক্ষ GH-এর উপর অবস্থান করে। কুণ্ডলী ঘুরলেই এরা ঘুরতে থাকে। স্লিপ-রিং-এর সঙ্গে দুটি ব্রাশ—I ও J লাগানো থাকে। এই ব্রাশ দ্বারাই রিঙ-দুটি বর্তনী R-এর সঙ্গে সংযোগ স্থাপন করে। কুণ্ডলী চৌম্বকক্ষেত্রে

ঘুরতে থাকলেই এতে তড়িৎ-প্রবাহ আবিষ্ট হবে এবং আবিষ্ট তড়িৎ-প্রবাহের মান প্রধানতঃ চৌম্বকক্ষেত্রের প্রাবল্য ও কুণ্ডলীর ঘূর্ণনের বেগের উপর নির্ভর করবে। কুণ্ডলীর একবার পূর্ণ ঘূর্ণনে এর মধ্যে আবিষ্ট তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখ একবার পরিবর্তিত হয়। প্রবাহ স্লিপ-রিঙ E ও F এবং ব্রাশ I ও J-এর মধ্য দিয়ে বর্তনী R-এ পেঁছোয়।

আবার এই আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল এবং তড়িৎ-প্রবাহের মান কোন বিশেষ সময় $t$-তে নীচে লেখা সমীকরণ-দুটি থেকে জানা যায় ঃ

$$E = E_0 \sin \omega t = E_0 \sin \theta.$$

এবং $I = I_0 \sin \omega t = I_0 \sin \theta.$ [যেখানে $E_0 = nH\omega A$ এবং $I_0 = \frac{E_0}{R}$]

ABDC কুণ্ডলীটি চৌম্বক বলরেখার সঙ্গে সমকোণে থাকলে, $\theta = 0^\circ$ এবং $E = 0$; এখন ঐ অবস্থান থেকে $90^\circ$ ঘুরে গেলে $\theta = 90^\circ$ এবং $E = E_0$ এবং $I = I_0$ হবে। অর্থাৎ, ঐ সময়ে তড়িচ্চালক বল এবং প্রবাহমাত্রা সবচেয়ে বেশী হবে। এরপর আরও ঘুরতে থাকলে প্রবাহমাত্রা ও তড়িচ্চালক বল—উভয়েই কমতে থাকে এবং 180°-তে অর্থাৎ প্রাথমিক অবস্থায় এলে প্রবাহ এবং তড়িচ্চালক বল শূন্য হবে। সেক্ষেত্রে $E = 0$ এবং $I = 0$। আবার, কুণ্ডলীটি 270°-এ এলে প্রবাহমাত্রা সবচেয়ে বেশী কিন্তু বিপরীতমুখী হবে এবং 360°-তে প্রবাহমাত্রা শূন্য হবে। এইভাবে A. C. ডায়নামো তড়িৎ উৎপাদন ক'রে বিস্তৃত ক্ষেত্রে বিদ্যুৎ সরবরাহ করে। ব্যবহারিক ডায়নামোগুলিতে একই অক্ষের উপর বিভিন্ন সমতলে অবস্থিত বহুসংখ্যক পৃথক পৃথক কুণ্ডলী থাকে।

## D. C. ডায়নামো ( D. C. dynamo ) ঃ

D. C. ডায়নামোর গঠন-প্রণালী A. C. ডায়নামোর অনুরূপ। তবে D. C. ডায়নামোতে স্লিপ-রিঙ-এর বদলে দুটি অর্ধ-বৃত্তাকার ধাতব পাত ( C, C′ ) ব্যবহার করা হয় (fig. 173)। ধাতব পাত ব্যবহারের একমাত্র উদ্দেশ্য হ'ল A. C. ডায়নামোর পরিবর্তী প্রবাহকে একমুখী প্রবাহে পরিণত করা। D. C. ডায়নামোতে কুণ্ডলী ABCD-র দুই প্রান্তের সঙ্গে দুটি অর্ধ-বৃত্তাকার ধাতব পাত C ও C′ লাগানো থাকে। পাত-দুটির মধ্যকার স্থান ফাঁকা থাকে এবং পরস্পরের সঙ্গে অন্তরিত অবস্থায় থাকে। এই পাত-দুটিকে কম্যুটেটর বলে। কম্যুটেটরের গায়ে দুটি ব্রাশ B ও B′ লাগানো থাকে। কম্যুটেটর এবং কুণ্ডলীর অক্ষ একই তলে অবস্থান করে। B ও B′ ব্রাশ-দুটির সঙ্গে বহির্বর্তনী R-এর সংযোগ স্থাপন করা হয়।

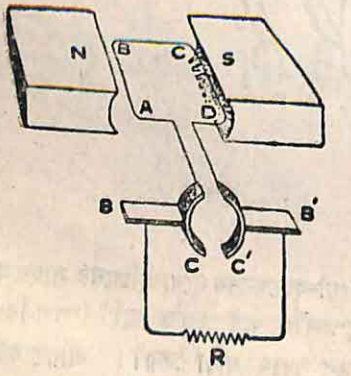



Fig. 173

আর্মেচার-কুণ্ডলী ABCD-র ঘূর্ণনের ফলে তড়িৎ-প্রবাহের সৃষ্টি হয়—যার অভিমুখ হয় পরিবর্তী। ধাতব পাত C ও C′-এর মধ্যে এমন পরিমাণে ফাঁক রাখা হয় এবং ব্রাশ্ B ও B′ এমনভাবে ধাতব পাত্রের সঙ্গে সংলগ্ন থাকে, যাতে কুণ্ডলী 180° পরিমাণ ঘুরলেই ধাতব-পাত-দুটি নিজেদের মধ্যে স্থান-পরিবর্তন করে। ফলে, পরিবর্তী-প্রবাহ বহির্বর্তনীতে একমুখী প্রবাহের সৃষ্টি করে।

এখন আর্মেচার-কুণ্ডলীতে যদি একটি তারের পাক থাকে, তাহলে এতে আবিষ্ট তড়িচ্চালক বলের অভিমুখ এর অবস্থানের সঙ্গে কিরকম ভাবে পরিবর্তিত হয়, তা

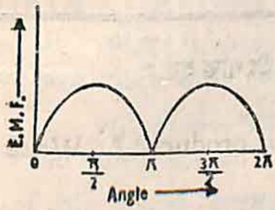



Fig. 174

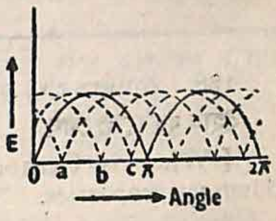



Fig. 175

লেখচিত্রের সাহায্যে দেখানো হল (fig. 174)। এরকম কুণ্ডলীর দুইপ্রান্ত কম্যুটেটরের সঙ্গে যোগ করলে বহির্বর্তনীর প্রবাহ একমুখী হয় বটে, কিন্তু প্রবাহের মান স্থির থাকে না।

তড়িচ্চালক বল বা তড়িৎ-প্রবাহের মান স্থির করতে হলে একই অক্ষদণ্ডের উপর বিভিন্ন সমতলে রাখা অনেকগুলি পৃথক পৃথক কুণ্ডলী ব্যবহার করতে হয়। এর ফলে, বিভিন্ন কুণ্ডলীতে উৎপন্ন আবিষ্ট তড়িচ্চালক বল একে অন্যের উপর পতিত হওয়ার জন্য তড়িচ্চালক বলের মান মোটামুটি স্থির থাকে (fig. 175)।

# আধুনিক পদার্থবিজ্ঞান এবং ইলেকট্রনিক্স

## [ Modern Physics & Electronics ]

**128** ক্যাথোড রশ্মি কাকে বলে এবং কিভাবে ইহার উৎপত্তি হয় ? ইহার ধর্মগুলি লেখ।

[ What is Cathode rays and how is it produced ? Write down its properties. ]

● **ক্যাথোড রশ্মি ( Cathode Ray ) ঃ**

দুটি প্ল্যাটিনাম তড়িৎ-দ্বার বিশিষ্ট একটি বেলনাকৃতি কাচের নলের মধ্যেকার বায়ুর চাপ প্রায় 0·02 মিমি পারদের চাপের সমান করে, দুই তড়িৎ দ্বার উচ্চ-বিভব-সম্পন্ন কোষের সঙ্গে যুক্ত করলে নলের বাইরে বিশেষ ক'রে ক্যাথোডের বিপরীত দিকে উজ্জ্বল আলো দেখা যাবে (fig. 176)। পরীক্ষা ক'রে দেখা গেছে যে, ক্যাথোড থেকে ইলেকট্রন বিচ্ছুরিত হয়ে অ্যানোডের দিকে ছুটে আসার জন্য এই উজ্জ্বল আলোর সৃষ্টি। ক্যাথোড থেকে নির্গত এই ইলেকট্রন প্রবাহকে **ক্যাথোড রশ্মি** (cathode ray) বলে। এই অবস্থায় কাচের নলটিকে ক্যাথোড রশ্মি-নল (cathode ray tube) বলে।

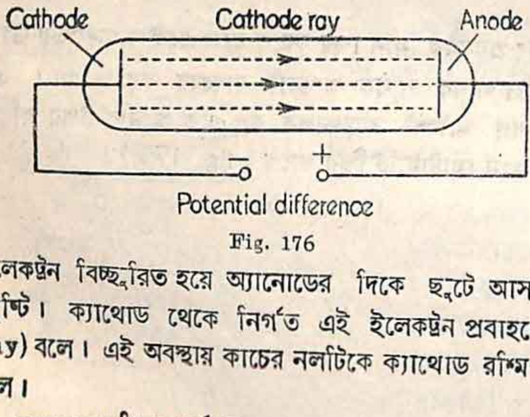



Fig. 176

**ক্যাথোড-রশ্মির ধর্ম** (Properties of Cathode ray) ঃ

ক্যাথোড রশ্মির কয়েকটি বিশিষ্ট ধর্ম নীচে আলোচিত হ'ল ঃ

1. ক্যাথোড-রশ্মি সরলরেখায় চলে।

2. ক্যাথোড-রশ্মি ক্যাথোডের তল থেকে লম্বভাবে নির্গত হয়। কারণ, ক্যাথোড পৃষ্ঠটি সমবিভব তল ব'লে তড়িৎ-বলরেখার অভিমুখ এর সঙ্গে লম্বভাবে অবস্থিত।

3. ক্যাথোড রশ্মি কোন বস্তুর উপর আপতিত হলে বস্তুটি উত্তপ্ত হয়। ক্যাথোড-রশ্মি নলে অবতল আকৃতির ক্যাথোড নিলে, নির্গত ক্যাথোড-রশ্মিগুলি একটি বিন্দুতে মিলিত হবে। ঐ বিন্দুতে একটি প্ল্যাটিনামের টুকরো রাখলে কিছুক্ষণের মধ্যেই

প্ল্যাটিনামের টুকরোটি লোহিত হয়ে যাবে। এর থেকেই প্রমাণিত হয় যে, ক্যাথোড-রশ্মি কোন বস্তুর উপর আপতিত হলে বস্তুটি উত্তপ্ত হয়।

4. ক্যাথোড-রশ্মির জড়তা আছে।

5. ক্যাথোড-রশ্মি কোন গ্যাসের উপর আপতিত হলে, গ্যাসটিকে আয়নিত করে।

6. ক্যাথোড-রশ্মি খুব পাতলা ধাতব পাত ভেদ ক'রে যেতে পারে।

7. ক্যাথোড-রশ্মি চৌম্বক-ক্ষেত্র দ্বারা বিচলিত হয়।

8. ক্যাথোড-রশ্মি তড়িৎ-ক্ষেত্র দ্বারা বিচলিত হয়।

9. ক্যাথোড-রশ্মিগুলি পরস্পরের উপর আড়াআড়িভাবে পার্শ্বচাপ দিয়ে থাকে। ফলে, দুটি ক্যাথোড রশ্মির মধ্যে বিকর্ষণ হয়।

10. অনুপ্রভ (phosphorescent) বস্তুর উপর ক্যাথোড রশ্মি আপতিত হলে বস্তু থেকে উজ্জ্বল আলো বের হয়, কিন্তু ক্যাথোড-রশ্মি নিজে অদৃশ্য।

11. ক্যাথোড-রশ্মি ঋণাত্মক তড়িৎ-আধান বহন করে। আসলে, ক্যাথোড-রশ্মি ক্যাথোড থেকে তীব্র বেগে আগত **ইলেকট্রন** ছাড়া আর কিছু নয়।

[ ক্যাথোড-রশ্মি ঋণাত্মক তড়িৎকণা দ্বারা তৈরী—এ তথ্য সহজেই প্রমাণ করা যায়। একটি শক্তিশালী চৌম্বকক্ষেত্র ক্যাথোড রশ্মির গতিপথের সমকোণে রাখলে, ক্যাথোড রশ্মি দ্বারা অ্যানোডের কাছে কাচের দেওয়ালে যে উজ্জ্বল প্রতিপ্রভ-এর সৃষ্টি হয়, তা অন্যদিকে সরে আসবে। ক্যাথোড রশ্মি তড়িৎপ্রবাহের সৃষ্টি করেছে, তাই চৌম্বকক্ষেত্রের উপস্থিতিতে এর বিক্ষেপ হবে এবং এর অভিমুখ ফ্লেমিং-এর বামহস্ত নিয়ম থেকে জানা যাবে। সুতরাং, এর দ্বারা প্রমাণিত হয় যে, ক্যাথোড রশ্মি ঋণাত্মক তড়িৎকণা অর্থাৎ ইলেকট্রন দ্বারা তৈরী। ]

12. ক্যাথোড রশ্মি রাসায়নিক পরিবর্তন সাধন করে, এদের বিজারণ ক্ষমতা আছে।

13. ক্যাথোড রশ্মি যখন কোন কঠিন প্রতিবন্ধকের উপর আপতিত হয়, তখন সেই প্রতিবন্ধক থেকে ক্ষুদ্র তরঙ্গদৈর্ঘ্যের শক্তির বিকিরণ হয়।

**129.** এক্স-রশ্মি কাকে বলে? একটি কুলীজনলে কিভাবে এক্স-রশ্মি সৃষ্টি হয়, তাহা বিবৃত কর। অ্যান্টিক্যাথোড সম্পর্কে একটি সংক্ষিপ্ত টীকা লেখ। এক্স-রশ্মির কয়েকটি ধর্ম বিবৃত কর।

[What is X-ray ? Describe production of X-rays in a Coolidge tube. Write note on anti-cathodes. Mention some uses of X-rays.]

● **এক্স-রশ্মি** (X-ray)

**সংজ্ঞা ঃ** যখন ক্যাথোড কণা বা দ্রুতগতি সম্পন্ন ইলেকট্রন কোন উপযুক্ত কঠিন প্রতিবন্ধক দ্বারা বাধাপ্রাপ্ত বা হঠাৎ মন্দিত হয় এবং নিজেরা গতিশক্তি বর্জন করে, তখন সেই কঠিন পদার্থ থেকে উচ্চ ভেদশক্তিসম্পন্ন [1° A. U.—0·0001° A. U.] একরকম বিশিষ্ট অদৃশ্য তির্যক তড়িচ্চুম্বকীয় বিকিরণ বের হয়। এই বিকিরণকে এক্স-রশ্মি বলে।

● **কুলীজ নল (Coolidge Tube) ঃ**

এক্স-রশ্মি নলের প্রধান অসুবিধা হ'ল যে, এতে একই সঙ্গে প্রাবল্য এবং বিশিষ্টতা বাড়ে বা কমে। আলাদা আলাদা ভাবে এদের যে-কোন একটিকে বেশী বা কম করার উপায় নেই।

বর্তমানে কুলীজ-নির্মিত নল এক্স-রশ্মি তৈরির কাজে ব্যবহৃত হয় (fig. 177)। কুলীজের যন্ত্রে একটি বায়ুশূন্য কাচ গোলকের ভিতর দুটি তড়িৎ-দ্বারা ঢোকানো

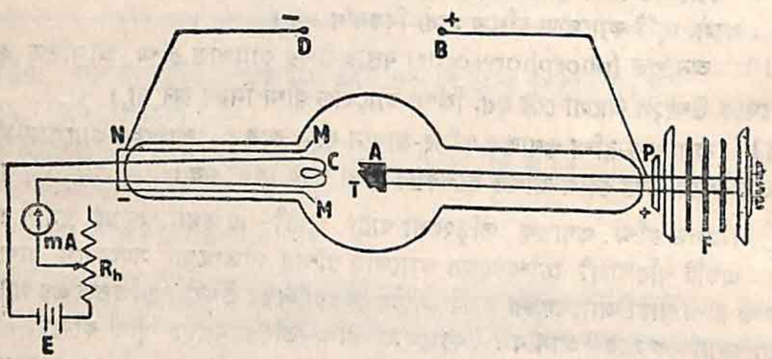



Fig. 177

থাকে—এদের অ্যানোড (P) ও ক্যাথোড (C) বলা হয়। একটি অত্যন্ত উচ্চ একমুখী বিভব-বৈষম্যের উৎসের ধনাত্মক মেরুর সঙ্গে অ্যানোড (P) যুক্ত থাকে এবং এই উৎসের ঋণাত্মক মেরুর সঙ্গে ক্যাথোডটি যুক্ত থাকে। ক্যাথোডটি একটি টাংস্টেনের সরু তার দিয়ে তৈরী। কুলীজের যন্ত্রে ক্যাথোডটি (C) একটি টাংস্টেনের ফিলামেণ্ট মাত্র ( fig. 177 )। ফিলামেণ্টকে একটি ব্যাটারী (E), পরিবর্তনশীল রোধ ( $R_h$ ) এবং একটি মিলি-অ্যামমিটারের ($m$A) সঙ্গে শ্রেণী-সমবায়ে যুক্ত করা হয়। রোধ ($R_h$) কম-বেশী ক'রে ফিলামেণ্টের মধ্য দিয়ে তড়িৎ-প্রবাহকে নিয়ন্ত্রিত করা যায়। ফিলামেণ্টের উষ্ণতা বা তাপমাত্রা বেশী হলে ফিলামেণ্ট থেকে বেশী পরিমাণ ইলেকট্রন নির্গত হবে। নির্গত ইলেকট্রনগুলিকে কেন্দ্রীভূত করবার জন্য মলিবডেনামের তৈরী একটি ফাঁপা চোঙ (MM) ব্যবহার করা হয়। এজন্য চোঙটির সামনের দিকটি অবতল আকৃতির করা হয়ে থাকে এবং ক্যাথোড সাপেক্ষে চোঙটিকে ঋণাত্মক রাখা হয়। অ্যানোডটি একটি লম্বা এবং ফাঁপা তামার চোঙ—যার বেশ খানিকটা অংশ কাচ-নলের বাইরে থাকে। অ্যানোডের সঙ্গে একটি উচ্চ গলনাঙ্ক বিশিষ্ট যথা—ট্যাণ্টেলাম, প্ল্যাটিনাম, টাংস্টেন ইত্যাদি) ধাতব টুকরো (T) জোড়া থাকে। একে অ্যাণ্টি-ক্যাথোড ( anti-cathode ) বলে। অ্যাণ্টি-ক্যাথোড এমন ধাতুর তৈরী হওয়া উচিত, যার পারমাণবিক গুরুত্ব, গলনাঙ্ক এবং তাপ-পরিবাহিতা অত্যন্ত বেশী। এছাড়া অত্যন্ত উচ্চ উষ্ণতায় এর বাষ্পচাপ খুব কম হওয়া দরকার। এই ধাতব টুকরোর (T) যে প্রান্ত

ক্যাথোডের দিকে, সেটিকে আনুভূমিকের সঙ্গে 45° কোণে আনত রাখা হয় এবং এই অংশটিকে গোলকের কেন্দ্র রাখা হয়।

ফিলামেণ্টের মধ্য দিয়ে তড়িৎ-প্রবাহের মান 30 – 35$mA$ এবং P ও C এর মধ্যে 100,000 ভোল্ট বিভব-বৈষম্য সৃষ্টি করলে ক্যাথোড থেকে নির্গত ইলেকট্রনগুলি সজোরে অ্যানোডে ধাক্কা মারবে এবং এক্স-রশ্মি উৎপন্ন হবে। ইলেকট্রনগুলির গতিশক্তি বেশীর ভাগই তাপ-শক্তিতে পরিণত হয় ব'লে অ্যানোডটি অত্যন্ত উত্তপ্ত হয়ে ওঠে। এজন্য অ্যানোডটিকে ঠাণ্ডা করার ব্যবস্থা থাকে। জল-প্রবাহের সাহায্যে কিংবা অ্যানোডের পিছনে কয়েকটি পাখনা ( fin ) F যুক্ত ক'রে তাপ-বিকিরণের ব্যবস্থা করা হয়।

**দ্রষ্টব্য 1 : কুলীজ নল কিভাবে এক্স-রশ্মির প্রাবল্য এবং বিশিষ্টতা নিয়ন্ত্রণ করে :**

এক্স-রশ্মির প্রাবল্য এবং বিশিষ্টতা যথাক্রমে ফিলামেণ্টের উষ্ণতা বা তাপমাত্রা এবং অ্যানোডের বিভবের উপর নির্ভর করে। কুলীজ নলে এদের উভয়কেই পৃথকভাবে নিয়ন্ত্রিত করা যায়। এক্স-রশ্মির প্রাবল্য নিয়ন্ত্রণ করা হয় ফিলামেণ্টের তাপমাত্রা অর্থাৎ ফিলামেণ্টের মধ্য দিয়া প্রবাহিত তড়িতের দ্বারা। আর বিশিষ্টতা নিয়ন্ত্রণ করা হয় অ্যানোড এবং ক্যাথোডের মধ্যে প্রযুক্ত বিভব-বৈষম্য দ্বারা।

**দ্রষ্টব্য 2 : কুলীজ নলের কার্যক্ষমতা গ্যাস নলের চেয়ে অনেক বেশী।**

● **অ্যাণ্টি-ক্যাথোড ( Anti-cathode ) :**

এক্স-রশ্মি নলের ক্যাথোডের সামনে আর একটি তড়িৎ-দ্বার থাকে। একে অ্যাণ্টি-ক্যাথোড (T) বলে ( fig. 178 )। **অ্যাণ্টি-ক্যাথোডটি উচ্চ গলনাঙ্ক বিশিষ্ট ধাতু, যথা—টাংস্টেন বা প্ল্যাটিনামের তৈরী।** অ্যাণ্টিক্যাথোডের যে প্রান্তটি ক্যাথোডের সঙ্গে থাকে, সেটি অক্ষের সঙ্গে 45° কোণে আনত থাকে। বাইরে থেকে অ্যাণ্টি-ক্যাথোড এবং অ্যানোড একটি রোধকের (R) দ্বারা যুক্ত থাকে। প্রযুক্ত সম-প্রবাহ বিভব-বৈষম্যের মান 10,000 ভোল্ট থেকে 100,000 ভোল্ট পর্যন্ত হয়ে থাকে। অবতল ক্যাথোড থেকে নির্গত ইলেকট্রনসমূহ T-তে গিয়ে কেন্দ্রীভূত হয়। এই কেন্দ্রীভূত ইলেকট্রনগুলির প্রচণ্ড গতিশক্তি থাকে। অ্যাণ্টি-ক্যাথোডে অকস্মাৎ ধাক্কা খেয়ে এই গতিশক্তির প্রায় 97-98% তাপশক্তিতে পরিণত হয় এবং কিছু অংশ ( 2 থেকে 3% ) এক্স-রশ্মি শক্তিতে পরিণত হয়। এর ফলে, অ্যাণ্টি-ক্যাথোডটি অত্যন্ত উত্তপ্ত হয়ে

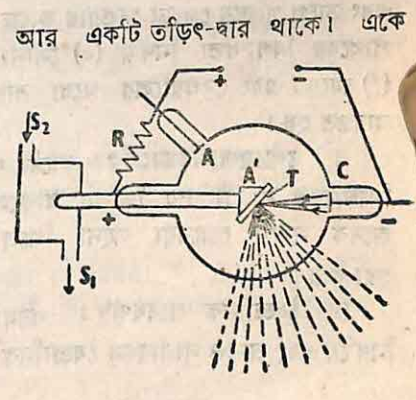



Fig. 178

পড়ে। বায়ুপ্রবাহ বা জলপ্রবাহের দ্বারা (চিত্রে $S_1$, $S_2$) এটিকে ঠাণ্ডা করার ব্যবস্থা রাখা হয়। এই জন্যই অ্যাণ্টি-ক্যাথোডটি উচ্চ গলনাঙ্কের ধাতু দিয়ে তৈরি করা হয়।

● **এক্স-রশ্মির ব্যবহার ( Uses of X-rays ) ঃ**

ব্যবহারিক জীবনে নানাবিধ ক্ষেত্রে এক্স-রশ্মিকে ব্যাপকভাবে ব্যবহার করা হয়। চিকিৎসা-শাস্ত্রে গোয়েন্দা-বিভাগে, শিল্প এবং বৈজ্ঞানিক গবেষণার কাজে এক্স-রশ্মির ব্যবহার হয়ে থাকে।

1. **চিকিৎসা-শাস্ত্রে ঃ** দেহের ভিতরের কোন অঙ্গ বা অংশ পরীক্ষা করতে এক্স-রশ্মি বিশেষভাবে সাহায্য করে। ভাংগা হাড়ের অবস্থান এই রশ্মির সাহায্যে সুন্দর-ভাবে বোঝা যায়। দেহের মধ্যে অবাঞ্ছিত কোনও বস্তু ঢুকলে, এই রশ্মির সাহায্যে সেটি ধরা পড়ে। আলসার, ক্যানসার, টিউমার, যক্ষ্মা ইত্যাদির সঠিক চিকিৎসা এক্স-রশ্মির সাহায্যে করা সম্ভব হয়।

2. **বিকিরণ-চিকিৎসায় ঃ** এক্স-রশ্মি সাংঘাতিক ধরনের টিউমার এবং চর্ম-রোগ নিরাময় করতে পারে। দেহের উপর অনেকক্ষণ এক্স-রশ্মি আপতিত হলে দেহের জীবাণু ধ্বংস হয় এবং কঠিন এক্স-রশ্মি দেহের অনেক ভিতরে অবস্থিত টিউমারকে ধ্বংস করে।

3. **যন্ত্র-বিদ্যায় ঃ** এক্স-রশ্মি ফটোগ্রাফের সাহায্যে (*a*) তারের বন্ধনের অন্তঃস্থ ভাঙন এবং কাঠ, নখ, পোর্সেলিন এবং অন্যান্য অপরিবাহী পদার্থের মধ্যের চিড়, (*b*) কয়লা এবং আকরিকের মধ্যে বিজাতীয় কণার উপস্থিতির পরীক্ষা, (*c*) ছাঁচে ঢালাই এবং তাপে গলিয়ে জোড়া দেওয়ার কাজে কোন খুঁত, (*d*) হীরা এবং অন্যান্য মূল্যবান পাথরের বিশুদ্ধতা নির্ণয় (*e*) সোনা, রুপো এবং বিস্ফোরক দ্রব্যের সনাক্তকরণে (*f*) মেঝের এবং দেওয়ালের মধ্যে তার এবং নলের অবস্থিতি প্রভৃতি সনাক্তকরণে ব্যবহৃত হয়।

4. **গোয়েন্দা-বিভাগে ঃ** কাঠের বাক্সের মধ্যে বা চামড়ার থলির মধ্যে লুকানো বিস্ফোরক বা নিষিদ্ধ জিনিস থাকলে এক-রশ্মির সাহায্যে সেটি নির্ণয় করা যায়। অনেক সময়ে চোরেরা গহনা গিলে ফেলে। এটিও এক্স-রশ্মির সাহায্যে নির্ণয় করা যায়।

5. **বৈজ্ঞানিক গবেষণায় ঃ** পরমাণুর গঠন-বিষয়ক গবেষণায়, কেলাসের গঠন-নির্ণয়ে এবং আরও নানারকম বৈজ্ঞানিক কাজে এই রশ্মির ব্যবহার আছে।

**130.** ইলেকট্রন-ভোল্ট কাকে বলে? জুলের সহিত এর সম্পর্ক কি? একটি ইলেকট্রন $2 \times 10^9$ cm/sec বেগে পরিভ্রমণ করলে ইলেকট্রন-ভোল্টে ইহার শক্তির মান নির্ণয় কর। ইলেকট্রনের ভর $= 9 \cdot 1 \times 10^{-28}$ gm.

[ Define electron-volt. How is it related to Joule? An electron is moving with a velocity of $2 \times 10^9$ cm/sec. Find its energy in electron-volt. Mass of the electron $= 9 \cdot 1 \times 10^{-28}$ gm. ]

● **ইলেকট্রন-ভোল্ট** ( **Electron Volt** ) ঃ

1 ভোল্ট বিভব-বৈষম্যের মধ্য দিয়ে একটি ইলেকট্রন গেলে এর যা গতিশক্তি হয়, তাকেই 1 ইলেকট্রন-ভোল্ট বলে। পরমাণু বিজ্ঞানে এই এককটির বহুল ব্যবহার হয়। একে সংক্ষেপে *ev* বলা হয়।

● **ইলেকট্রন-ভোল্ট এবং জুলের মধ্যে সম্পর্ক** ঃ

আমরা জানি e. s. u. এককে ইলেকট্রনের তড়িতাধান $= 4.803 \times 10^{-10}$ এবং 1 ভোল্ট $= \frac{1}{300}$ e. s u. বিভব-বৈষম্য।

সেইজন্য, 1 $ev$ = e. s. u. এককে একটি ইলেকট্রনের আধান × 1 ভোল্ট

$$= 4.803 \times 10^{-10} \times \tfrac{1}{300}$$
$$= 1.601 \times 10^{-12} \text{ erg}$$
$$\doteq 1.601 \times 10^{-19} \text{ joule.}$$

আমরা জানি যে,

$$1\ ev = 1.601 \times 10^{-12} \text{ erg.}$$

শক্তি অর্থে এক্ষেত্রে গতিশক্তি

$$= \tfrac{1}{2}mv^2$$
$$= \tfrac{1}{2} \times \frac{9.1 \times 10^{-28} \times (2 \times 10^9)^2}{1.601 \times 10^{-12}}.$$
$$= \tfrac{1}{2} \times \frac{9.1 \times 10^{-28} \times 4 \times 10^{18}}{1.601 \times 10^{-12}}.$$
$$= \frac{9.1 \times 4 \times 100}{2 \times 1.601}.$$
$$= 1136.7895\ e.\ v.$$

**131.** তাপীয় আয়ন নিঃসরণ বলতে কি বুঝ ? একটি ডায়োডের গঠন বর্ণনা কর। পরিবর্তী তড়িৎ-প্রবাহের পূর্ণ-তরঙ্গ-একমুখীকরণে ডায়োডের ব্যবহার উল্লেখ কর।

[ What do you mean by thermionic emission ? Describe the construction of a diode. How can it be used as a full wave rectification of alternating current ? ]

● **তাপীয় আয়ন নিঃসরণ** ঃ

1902 খ্রীষ্টাব্দে বিজ্ঞানী রিচার্ডসন দেখান যে, সকল ধাতুকে উত্তপ্ত করা হলে ইলেকট্রন নিঃসৃত হয়।

অতএব, উত্তপ্ত ধাতব তল থেকে ইলেকট্রন স্রোত নিঃসরণ হওয়ার ঘটনাকে **তাপীয় আয়ন নিঃসরণ** বলে। এখানে নিঃসৃত ইলেকট্রনগুলিকে **তাপীয় আয়ন** বলে। তাপীয় আয়ন নিঃসরণের ফলে যে তড়িৎ-প্রবাহের সৃষ্টি হয়, তাকে **তাপীয় আয়ন প্রবাহ** বলে।

উত্তপ্ত তরল-অণুর বাষ্পীভবন পদ্ধতির সহিত উত্তপ্ত ধাতব পৃষ্ঠ হইতে ইলেকট্রন নিঃসরণের সাদৃশ্য অবলম্বন ক'রে এবং গ্যাসের গতিতত্ত্ব এবং তাপ-গতিবিদ্যার সূত্রাবলী প্রয়োগ ক'রে বিজ্ঞানী রিচার্ডসন তাপীয় আয়ন প্রবাহের একটি সমীকরণ প্রতিষ্ঠা করেন। সমীকরণটি নিম্নরূপ :

$$I = AT^2 e^{-\frac{\phi_0}{KT}} \qquad (1)$$

যেখানে $I$ = তাপীয় আয়ন প্রবাহ ; $A$ = একটি ধ্রুব রাশি, যার মান বিভিন্ন ধাতুর ক্ষেত্রে বিভিন্ন ; $T$ = কেলভিন স্কেলে ধাতব তলের ক্ষেত্রফল ; $\phi_0$ = উক্ত স্কেলে ধাতব তলের কার্য অপেক্ষক ; $K$ = বোলজম্যানের ধ্রুবক।

(1)নং সমীকরণকে **রিচার্ডসনের সমীকরণ** বলে।

এই সমীকরণ হইতে দেখা যায় যে, কোন ধাতুর ক্ষেত্রে $A$ ধ্রুবকের মান যত বেশী এবং $\phi_0$ এর মান যত কম, নির্দিষ্ট তাপমাত্রায় উক্ত ধাতুর তাপীয় আয়ন নিঃসরণ তত বেশী হবে।

● **ডায়োড ( Diode ) :**

সবচেয়ে সরল এবং প্রাথমিক বায়ুশূন্য টিউবকে ডায়োড বলা হয়। এতে দুটি তড়িৎ-দ্বার বা ইলেকট্রোড থাকে। একটিকে ক্যাথোড (C) ও অন্যটিকে অ্যানোড (A) বা প্লেট (plate) বলে (fig. 179)। ক্যাথোডটি একটি লম্বা এবং সরু ধাতব চোঙ। একে প্রত্যক্ষভাবে বা পরোক্ষভাবে উত্তপ্ত করা যায় [ fig. 179(*a*) এবং fig. 179(*b*) ]। অ্যানোডটি একটি বড় এবং সম-অক্ষীয় ধাতব চোঙ। এটি ক্যাথোডটিকে ঘিরে রাখে। ক্যাথোড এবং অ্যানোড—দুটিই বায়ুশূন্য কাচের বা ধাতব কুন্ডের ( G ) ( cover ) মধ্যে ঢোকানো থাকে। বহির্বর্তনীতে যুক্ত করার জন্য ক্যাথোড,

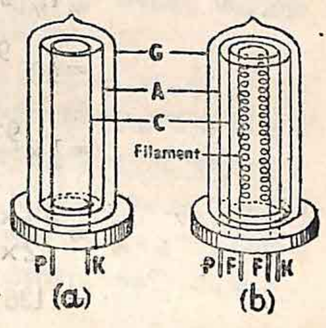



Fig. 179

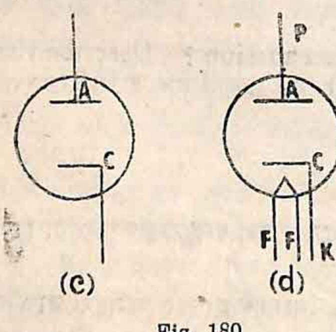



Fig. 180

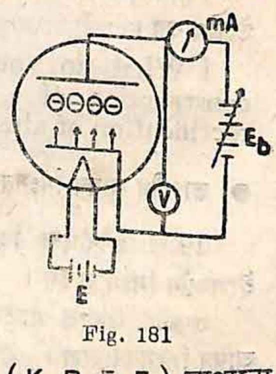



Fig. 181

অ্যানোড এবং ফিলামেণ্ট থেকে যথাক্রমে সরু পরিবাহী দণ্ড ( K, P, F, F ) লাগানো

থাকে। সাধারণতঃ প্রত্যক্ষ বা পরোক্ষভাবে উত্তপ্ত ডায়োডকে যথাক্রমে পূর্বপৃষ্ঠায় প্রদত্ত চিত্রদ্বয়ের [ fig. 180 (*c*) এবং fig. 180 (*d*) ] মতো করে বোঝানো হয়। আমরা আমাদের পরবর্তী আলোচনা সমূহে এই ধরনের চিত্রই ব্যবহার ক'রবো।

তড়িতের সাহায্যে নিঃসরককে উত্তপ্ত ক'রে উপযুক্ত উষ্ণতায় রেখে ইলেকট্রন নিঃসরণের ব্যবস্থা করা হয়। এখন প্লেট বা অ্যানোড এবং ক্যাথোডের মধ্যে একটি নির্দিষ্ট বিভব-বৈষম্য সৃষ্টি করলে ( প্লেটকে সবসময়ই ধনাত্মক বিভবে রাখতে হবে ) নিঃসৃত ইলেকট্রনগুলি স্থির তাড়িতিক আকর্ষণ-বলের প্রভাবে প্লেটের দিকে যাবে ( fig. 180 (*c*), (*d*) )। বর্তনী সম্পূর্ণ হওয়ার জন্য সহজেই বোঝা যাচ্ছে যে, ইলেকট্রন প্রবাহের জন্য তড়িৎ-প্রবাহ হবে ( fig 181 )। বহির্বর্তনীতে একটি সুবেদী মিলি-অ্যামমিটার রাখলে তার পাঠ থেকে তড়িৎ-প্রবাহের মান পাওয়া যাবে।

**'ভালভ' কথাটা ব্যবহার করা হয় কেন ঃ**

যতক্ষণ প্লেট ধনাত্মক বিভব-যুক্ত এবং ক্যাথোড ইলেকট্রন নিঃসৃত করতে পারে ততক্ষণ তড়িৎ-প্রবাহ পাওয়া যায়। কিন্তু যদি প্লেট ঋণাত্মক বিভব-যুক্ত হয়, তাহলে ক্যাথোড ইলেকট্রন নিঃসৃত করা সত্ত্বেও তড়িৎ-প্রবাহ হবে না। বিভিন্ন ধরনের বায়ু-পাম্পে 'ভাল্‌ভ' ব্যবহার ক'রে তরল বা বায়ুকে একটি নির্দিষ্ট দিকে পাঠানোর ব্যবস্থা হয়, বিপরীত দিকে প্রবাহ হলে 'ভাল্‌ভ'-টি প্রবাহ বন্ধ ক'রে দেয়। এক্ষেত্রেও সেইরকম হচ্ছে ব'লে ডায়োডের সঙ্গে ভাল্‌ভ কথাটা যুক্ত আছে।

**ডায়োডের বৈশিষ্ট্য-লেখ ঃ**

কোন ডায়োডকে সাধারণতঃ দু'ভাগে কার্যকর করা যায়। প্রথমতঃ প্লেট এবং ক্যাথোডকে একটি নির্দিষ্ট বিভব-বৈষম্যে রেখে, নিঃসরকের তাপমাত্রা কমিয়ে-বাড়িয়ে,

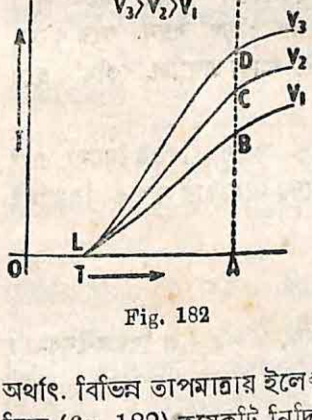



Fig. 182

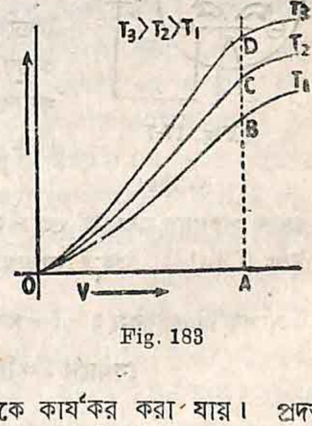



Fig. 183

অর্থাৎ, বিভিন্ন তাপমাত্রায় ইলেকট্রন বার ক'রে ডায়োডকে কার্যকর করা যায়। প্রদত্ত চিত্রে (fig. 182) কয়েকটি নির্দিষ্ট বিভিন্ন বিভব বৈষম্যে ($V_3 > V_2 > V_1$) নিঃসরকের তাপমাত্রার সঙ্গে নিঃসরণ-প্রবাহের লেখচিত্র দেখানো হয়েছে। চিত্র থেকে বোঝা যাচ্ছে যে, যতই নিঃসরকের তাপমাত্রা বাড়বে, ততই তড়িৎ-প্রবাহের মান বাড়বে। তবে উষ্ণতার

একটি মানের পর তড়িৎ-প্রবাহের মানও একটি নির্দিষ্ট সীমামানে পৌঁছে যাবে। অর্থাৎ উষ্ণতার একটি নির্দিষ্ট মানের পর নিঃসরণ প্রবাহ আর বাড়ে না, সংপৃক্ত হয়ে যায়। নির্দিষ্ট উষ্ণতার স্থির বিভব বৈষম্যের মান যত বাড়ানো যায়, তত নিঃসরণ প্রবাহের মান বেশী হয়। চিত্রে (fig. 182), $V_3 > V_2 > V_1$ ব'লে OA-উষ্ণতায় নিঃসরণ প্রবাহের মান যথাক্রমে AD, AC এবং AB।

আবার, নিঃসরককে নির্দিষ্ট উষ্ণতায় রেখে প্লেট এবং ক্যাথোডের মধ্যে বিভব-বৈষম্যের মান বাড়িয়ে-কমিয়েও একে কার্যকর করা হয়। পূর্বপৃষ্ঠার প্রদত্ত চিত্রে (fig. 183) নিঃসরককে নির্দিষ্ট উষ্ণতায় রেখে বিভব-বৈষম্যের সঙ্গে নিঃসরণ প্রবাহের লেখচিত্র দেখানো হয়েছে। এই ক্ষেত্রেও কিন্তু বিভব-বৈষম্য বাড়ালে নিঃসরণ প্রবাহও বাড়বে। তবে, বিভব-বৈষম্যের একটি নির্দিষ্ট মানের পর, বিভব-বৈষম্য আরও বাড়ালে নিঃসরণ প্রবাহ আর বাড়বে না, সংপৃক্ত হয়ে যাবে। নির্দিষ্ট উষ্ণতায় মান যত বাড়বে, তত নির্দিষ্ট বিভব-বৈষম্যে নিঃসরণ প্রবাহও বাড়বে। পূর্বোক্ত চিত্রে (fig. 183) $T_3 > T_2 > T_1$ ব'লে OA বিভব-বৈষম্য, নিঃসরণের মান যথাক্রমে AD, AC এবং AB।

নিঃসরকের কোন নির্দিষ্ট উষ্ণতায় যদি প্লেট এবং ক্যাথোডের মধ্যে বিভব-বৈষম্যের মান এমন হয় যে, তার জন্য সৃষ্ট স্থির তাড়িতিক ক্ষেত্র প্রতি সেকেণ্ডে যে কটি ইলেকট্রন নিঃসরক থেকে বেরোচ্ছে, তাদের সবকটিকেই প্রতি সেকেণ্ডে প্লেট টেনে নিতে সক্ষম হচ্ছে না, সেক্ষেত্রে প্রতি সেকেণ্ডে কিছু সংখ্যক ইলেকট্রন ক্যাথোডের কাছে থাকে। কিছু সময় বাদে এই ধরনের ইলেকট্রনের সংখ্যা অনেক হয়ে যাবে। ক্যাথোডের কাছাকাছি এই ধরনের ইলেকট্রনের সমাবেশকে **স্পেস-আধান** (space charge) বলে।

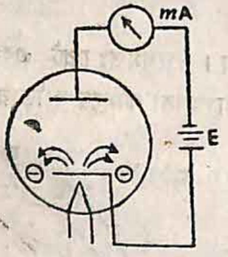


Fig. 17-7

Fig. 184

প্রসঙ্গত উল্লেখযোগ্য যে ঃ

1. যদি ক্যাথোডকে ধনাত্মক এবং প্লেটকে ঋণাত্মক বিভবে রাখা হয়, তাহলে ইলেকট্রন প্রবাহ হবে না। কারণ, ইলেকট্রন ঋণ-আধানের তড়িৎ বহন করে ব'লে, ঋণাত্মক বিভবে আহিত প্লেটের দ্বারা এগুলি বিকর্ষিত হবে (fig. 184)।

2. স্পেস-আধান সীমিত অংশে বিভব-বৈষম্য এবং নিঃসরণ প্রবাহের সম্পর্কে ওহ্‌ম সূত্র মেনে চলে না। এদের মধ্যেকার সম্পর্ক বিজ্ঞানী চাইল্ড (Child) বিবৃত করেছেন।

সম্পর্কটি এইরকম ঃ $I = KV^{\frac{3}{2}}$

যেখানে I = নিঃসরণ প্রবাহ, K = ধ্রুবক, V = প্রযুক্ত বিভব-বৈষম্য।

**একমুখীকরণ (Rectificaction) ঃ**

পরিবর্তী প্রবাহকে একমুখী করার কাজে ডায়োড ব্যবহার করা হয়। আমরা আগেই জেনেছি যে, যখন ক্যাথোডটি প্লেটের তুলনায় ধনাত্মক হয়ে যায়, তখন নিঃসরক

(বা ক্যাথোড) থেকে নির্গত ইলেকট্রনগুলি প্লেটের দিকে যাবে না। অর্থাৎ, এই রকম ক্ষেত্রে কোন নিঃসরণ প্রবাহ বা তড়িৎ-প্রবাহ হবে না। কিন্তু যখন প্লেটটি ক্যাথোডের সাপেক্ষে ধনাত্মক থাকবে, তখন নিঃসরক থেকে নির্গত ইলেকট্রনগুলিকে আকর্ষণ করতে সক্ষম হবে; এর অর্থ এই যে, ডায়োড কেবল একটি দিকেই তড়িৎ-প্রবাহ ঘটাতে পারে। ডায়োডের এই ধর্মকে একমুখীকরণ (rectification) বলা হয়। যখন কোন ডায়োড দ্বারা একমুখীকরণ ঘটে, তখন ডায়োডটিকে **একমুখীকারক** বা **দিষ্টকারক** (rectifier) বলে।

**পূর্ণ-তরঙ্গ একমুখীকারক হিসাবে ডায়োডের ব্যবহার ঃ**

দুটি ডায়োড, রোধক, পরিবর্তী প্রবাহের উৎস (a. c. source) এবং একটি ট্রান্সফর্মার নীচের চিত্রের (fig. 185) মতো যুক্ত করা হ'ল।

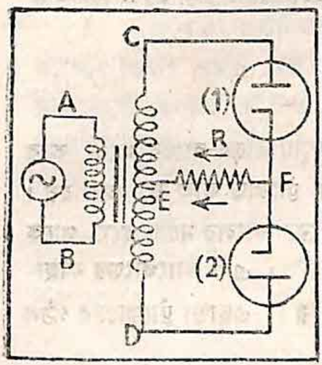



Fig. 185

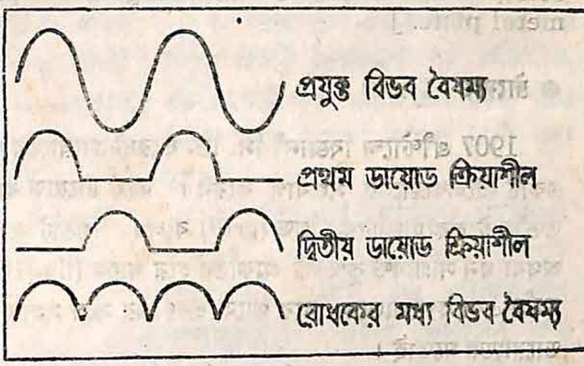



Fig. 186

ট্রান্সফর্মারের মুখ্য অংশে (AB) পরিবর্তী তড়িৎ-প্রবাহ দেওয়া হ'ল। ট্রান্সফর্মারের পাক সংখ্যা 1 : 2 হলে CD-তে, যে-কোন সময়ে দ্বিগুণ বিভব-বৈষম্য পাওয়া যাবে। E, CD-র মধ্য বিন্দু হলে, CE এবং ED-তে প্রাপ্ত বিভব-বৈষম্য AB-র সমান হবে। মুখ্য অংশে (AB) যখন A ধনাত্মক, তখন C, E-র তুলনায় ধনাত্মক এবং E, D-র সাপেক্ষে ধনাত্মক। পরিবর্তী-প্রবাহের যে কোন চক্রের প্রথমার্ধের জন্য প্রথম ডায়োডের (1) প্লেট ধনাত্মক থাকবে। তাই প্রথম ডায়োড দিয়ে তড়িৎ-প্রবাহ হবে এবং ঐ তড়িৎ R রোধকের মধ্য দিয়ে যাবে। রোধকের মধ্য দিয়ে তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখ F থেকে E বরাবর হবে। এই সময়ে E, D-র তুলনায় ধনাত্মক ব'লে দ্বিতীয় ডায়োডের ক্যাথোড থেকে নিঃসৃত ইলেকট্রন, এর প্লেট দ্বারা আকর্ষিত হবে না। অর্থাৎ, যে-কোন চক্রের প্রথম অর্ধাংশে দ্বিতীয় ডায়োডের মধ্য দিয়ে তড়িৎ-প্রবাহ হবে না। আবার যে-কোন চক্রের দ্বিতীয়ার্ধে D, E-র সাপেক্ষে ধনাত্মক এবং E, C-র সাপেক্ষে ধনাত্মক। তাহলে, তখন দ্বিতীয় ডায়োড কার্যকর হবে এবং রোধক R-এর মধ্য দিয়ে E থেকে F অভিমুখে তড়িৎ-প্রবাহ পাঠাবে। এই সময়ে C-বিন্দু E-বিন্দুর সাপেক্ষে ঋণাত্মক হওয়ায় প্রথম ডায়োড নিষ্ক্রিয় থাকবে। পরবর্তী চিত্রসমূহে (fig. 186) এটি বোঝানো

হয়েছে। দুটি ডায়োড ব্যবহার করার ফলে যে-কোন চক্রের প্রতি অর্ধেই রোধক R-এর মধ্য দিয়ে একই অভিমুখে ( F থেকে E ) তড়িৎ-প্রবাহ হচ্ছে।

যে-কোন চক্রের প্রথম এবং দ্বিতীয় অর্ধে দুটি ডায়োডের জন্য R-রোধকের মধ্য দিয়ে একই অভিমুখে তড়িৎ-প্রবাহ ঘটছে (অবশ্য সাইন-লেখর মতো এই প্রবাহ বদলাচ্ছে ) ব'লে ওটিকে পূর্ণতরঙ্গ দিষ্টকারক বলে।

132. ট্রায়োড কাকে বলে ? একটি ডায়োডের সঙ্গে ইহার পার্থক্য কি ? একটি ট্রায়োডের গ্রিডের কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর। গ্রিড-বায়াস বলতে কি বুঝ ? গ্রিডকে চোঙাকৃতি ধাতব প্লেট দ্বারা তৈরী করা হলে কি ক্ষতি হবে ?

[ What is triode ? How does it differ from a diode ? What is the function of grid of a triode ? What do you mean by grid-bias ? What would be harm if grid be prepared by cylindrical metal plate. ]

● **ট্রায়োড** (Triod) :

1907 **খ্রীষ্টাব্দে** বিজ্ঞানী সি. ডি. ফরেস্ট ডায়োডের দুটি তড়িৎ-দ্বারের মধ্যে আর একটি ইলেকট্রোডের সংযোগ করেন। একে **ট্রায়োড** বা **ট্রায়োড ভাল্‌ভ্‌** বলা হয়। তৃতীয় ইলেকট্রোডটিকে **গ্রিড** (grid) বলে। গ্রিডটি তারের জালের মতো হয়ে থাকে অথবা ঘন সন্নিবিষ্ট কুণ্ডলী আকৃতির হয়ে থাকে (fig. 187 )। এটি **ক্যাথোডের কাছাকাছি** এবং ক্যাথোডকে ঘিরে থাকে এবং এর সঙ্গে সমাক্ষীয়। এছাড়া ট্রায়োডের গঠন ডায়োডের মতোই।

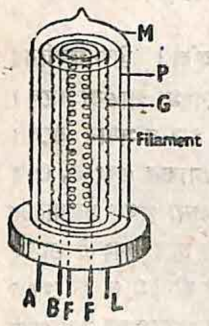



Fig. 187

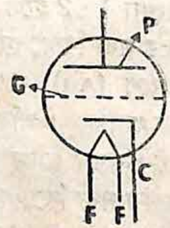



Fig. 188

বায়ুশূন্য একটি কাচ বা ধাতব কুণ্ডের (M) মধ্যে ইলেকট্রোড-তিনটি ঢোকানো থাকে। ইলেকট্রন নিঃসরণের জন্য নিঃসরককে প্রত্যক্ষ- বা পরোক্ষভাবে উত্তপ্ত করা হয়। চিত্রে (fig. 187 ) একটি পরোক্ষভাবে উত্তপ্ত নিঃসরককে দেখানো হয়েছে। একটি কুণ্ডলীকৃত তারকে তড়িৎ-প্রবাহের সাহায্যে উত্তপ্ত করা হয়। একে ফিলামেণ্ট (F, F) বলে। ফিলামেণ্টের সঙ্গে সমাক্ষীয়ভাবে পরপর ক্যাথোড, গ্রিড, (G) এবং প্লেট (P)

থাকে। বহির্বর্তনীতে সংযুক্ত করার জন্য এদের প্রত্যেকটি থেকে সরু ধাতব দণ্ড [ A (প্লেট), B (গ্রিড), F, F (ফিলামেণ্ট এবং L (ক্যাথোড)] বাইরে বার করা থাকে fig. 187)।

পূর্বপৃষ্ঠায় প্রদত্ত চিত্রে ( fig. 188 ) ট্রায়োডকে সাধারণতঃ যেভাবে বোঝানো হয়, সেটা দেখানো হয়েছে।

● **ডায়োড এবং ট্রায়োড ভালভের মধ্যে পার্থক্য ঃ**

| ডায়োড | ট্রায়োড |
|---|---|
| 1 বায়ুশূন্য একটি কাচ বা ধাতব কুণ্ডের ভিতর একটি প্লেট এবং একটি ফিলামেণ্ট আবদ্ধ ক'রে একটি ডায়োড তৈরী করা হয়। | 1. বায়ুশূন্য একটি কাচের কুণ্ডের ভিতর একটি ফিলামেণ্ট বা ক্যাথোড, একটি প্লেট বা অ্যানোড এবং একটি গ্রিড আবদ্ধ ক'রে ট্রায়োড ভালভ তৈরী করা হয়। |
| 2. ডায়োডের সাহায্যে পরিবর্তী প্রবাহকে একমুখী প্রবাহে রূপান্তরিত করা যায়। | 2. ট্রায়োডের সাহায্যে পরিবর্তী প্রবাহের একমুখীকরণ, ক্ষীণ পরিবর্তী ভোল্টেজের বিবর্ধন এবং অদমিত উচ্চ-কম্পাঙ্ক-যুক্ত প্রবাহ উৎপাদন করা যায়। |
| 3. নির্গত ইলেকট্রনের গতি ত্বরান্বিত বা মন্দীভূত করা যায় না। | 3. গ্রিডের অন্তর্ভুক্তির দরুন ফিলামেণ্ট থেকে নির্গত ইলেকট্রনের গতি ত্বরান্বিত বা মন্দীভুত করা যায়। |

● **গ্রিডের কাজ ( Action of the Grid ) ঃ**

গ্রিড একটি তারজালি। একটি ধাতব চাদরকে বেলনাকৃতি ক'রে এবং এর গায়ে অসংখ্য ছোট ছোট ছিদ্র ক'রে গ্রিড তৈরী করা হয়। সাধারণ অবস্থায় ক্যাথোড থেকে নির্গত ইলেকট্রনগুলিকে প্লেটে যেতে গ্রিড কোনরকম বাধা দেয় না, কারণ এটা একটি তারের জালের মতো হওয়ায় এর ফাঁকগুলির মধ্য দিয়ে ইলেকট্রনগুলি সহজেই চলে যেতে পারে, কিন্তু গ্রিডে যখন কোন বিভব দেওয়া হয়, তখন গ্রিড এবং ক্যাথোডের মধ্যেও স্থির তাড়িতিক ক্ষেত্রের সৃষ্টি হয়। যেহেতু গ্রিডটি প্লেটের তুলনায় ক্যাথোডের কাছাকাছি থাকে, সেহেতু গ্রিডটি বহুলাংশে ক্যাথোড থেকে নির্গত ইলেকট্রনের গতিবিধি নিয়ন্ত্রণ করে। গ্রিডকে ক্যাথোডের সাপেক্ষে ধনাত্মক বিভব দিলে স্পেস আধান ক্রিয়ার জন্য পড়ে-থাকা ইলেকট্রনগুলিকে প্লেটের দিকে ত্বরান্বিত করতে পারে ; এর ফলে স্পেস আধান কমে যায় এবং নিঃসরণ প্রবাহ বেড়ে যায়। অপরপক্ষে, গ্রিডকে ক্যাথোডের সাপেক্ষে ঋণাত্মক বিভব দিলে, গ্রিড নিজে

বেশ কিছু সংখ্যক ইলেকট্রনকে বিকর্ষিত ক'রে দেবে। এইসব ইলেকট্রনগুলি ক্যাথোডের কাছাকাছি ভীড় ক'রে থাকবে; অর্থাৎ, স্পেস আধান বেড়ে যাবে। কেবল অত্যন্ত দ্রুতগতিসম্পন্ন ইলেকট্রনগুলি প্লেটে পেঁছোতে পারবে, অর্থাৎ, নিঃসরণ প্রবাহ সেক্ষেত্রে অনেক কম হয়ে যাবে। গ্রিডকে একটি নির্দিষ্ট ঋণাত্মক বিভবে রেখে সামান্য বিভব-পরিবর্তন করলে দেখা যায় যে, তড়িৎপ্রবাহের মান অনেক বেশী পরিবর্তিত হয়। মোটামুটিভাবে বলা যায়, গ্রিডে একটি নির্দিষ্ট বিভব রেখে তার চেয়ে যদি 1 ভোল্ট কমানো যায়, তাহলে ট্রায়োডের মধ্যে দিয়ে তড়িৎ-প্রবাহের মান যে পরিমাণ কমে যায় —গ্রিডের অবর্তমানে প্লেটের বিভব অন্ততপক্ষে দশগুণ বাড়ালে তবেই আবার আগের মতো তড়িৎ-প্রবাহ পাওয়া যায়। গ্রিডের সামান্য বিভব-বৈষম্যের পরিবর্তনের ধর্মটি ইলেকট্রনিকস্ বিজ্ঞানে প্রচুর কাজে আসে। তাই, ট্রায়োডের আবিষ্কারকে ইলেকট্রনিকস্ বিজ্ঞানে নূতন যুগের সূচনা ব'লে ধরা যেতে পারে।

**গ্রিড-বায়াস** ( Gid-bias ) :

গ্রিডের উপর প্রয়োজনীয় বিভব-তড়িৎ প্রয়োগ ক'রে ক্যাথোড থেকে অ্যানোডের দিকে ধাবমান ইলেকট্রনের গতি নিয়ন্ত্রণ করা যায় ব'লে গ্রিডকে **নিয়ন্ত্রক গ্রিড** বলা হয় এবং ইহাতে প্রযুক্ত বিভবকে ভাল্‌ভের **গ্রিড-বায়াস** বলা হয়। এই গ্রিড-বায়াসের উপযুক্ত পরিবর্তন দ্বারা প্লেট প্রবাহকে সম্পূর্ণ নিয়ন্ত্রণ করা যায়।

133. একটি ট্রায়োডের বিবর্ধন-গুণক, অ্যানোড-রোধ এবং পারস্পরিক পরিবাহিতা কাকে বলে? লেখচিত্রের সাহায্যে বিবর্ধক রূপে ট্রায়োডের কার্যনীতি ব্যাখ্যা কর।

[Define : Amplification factor, anode resistance and mutual conductance of a triode ?

Explain graphically the principle of amplification of a triode ?]

● **বিবর্ধনাঙ্ক** ( **Amplification Factor** ) :

**সংজ্ঞা** : কোন নির্দিষ্ট প্লেট-তড়িতের (ধরি $i_a$) পরিবর্তন করার জন্য প্রয়োজনীয় প্লেট-বিভবের ($V_a$) পরিবর্তন (গ্রিড-বিভব স্থির রেখে) এবং একই প্লেট তড়িতের ($i_a$) পরিবর্তন করার জন্য প্রয়োজনীয় গ্রিড-বিভবের ($V_g$) পরিবর্তনের ( প্লেট-বিভব স্থির রেখে ) অনুপাতকে বিবর্ধনাঙ্ক ( amplification factor ) বলে ($\mu$)। অর্থাৎ

$$\mu = \left(\frac{V_a}{V_g}\right)_{i_a}$$

এটি একটি অনুপাত এবং এর কোন একক নেই। $V_a$ এবং $V_g$-র লেখচিত্রের ($i_a$ স্থির রেখে) সমান্তরাল এবং সরলরৈখিক অংশে $\mu$-র মান প্রায় স্থির থাকে কিন্তু বক্র-অংশসমূহে বিভিন্ন মান হয়। $\mu$-র মান সাধারণতঃ 3 থেকে 100-র মধ্যে হয়।

● অ্যানোড রোধ ( Anode or Plate Resistance ) :

সংজ্ঞা : গ্রিড-বিভবকে ($V_g$) নির্দিষ্ট রেখে প্লেটের $V_a$ পরিমাণ বিভব-পরিবর্তনের জন্য প্লেট প্রবাহের পরিবর্তনের ($i_a$) অনুপাতকেই প্লেট বা অ্যানোড রোধ ($r_p$) বলে।

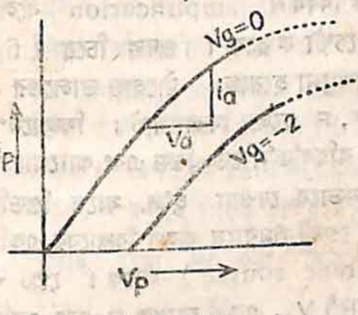



Fig. 189

অর্থাৎ, $r_p = \left(\frac{V_a}{i_a}\right)_{V_g}$

এর একক ওহম। পাশের চিত্রটি (fig. 189) থেকে সহজেই বোঝা যাচ্ছে যে, লেখগুলি সব জায়গায় পরস্পর সমান্তরাল নয় ব'লে $r_p$-র মান বিভিন্ন জায়গায় বিভিন্ন। লেখগুলির মাঝের অংশ প্রায় সমান্তরাল ব'লে ঐ অংশে $r_p$-র মান প্রায় সমান। সাধারণতঃ, $r_p$-র মান 1000 Ω থেকে 10,000 Ω পর্যন্ত হয়ে থাকে।

● অন্যোন্য বা পারস্পরিক পরিবাহিতাঙ্ক ( Mutual Conductance ) :

সংজ্ঞা : প্লেটের কোন নির্দিষ্ট বিভবের (ধরি $V_a$) জন্য যদি V পরিমাণ গ্রিড বিভবের পরিবর্তনে প্লেট তড়িতের পরিবর্তন $i_a$ হয়, তখন সেই নির্দিষ্ট প্লেটের বিভবের জন্য প্লেট-তড়িতের পরিবর্তন এবং গ্রিড-বিভবের পরিবর্তনের অনুপাতক বলা হয় অন্যোন্য পরিবাহিতাঙ্ক (mutual conductance = $g_m$ )।

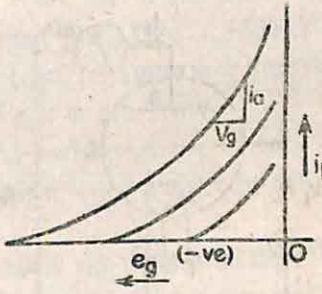



Fig. 190

অর্থাৎ, $g_m = \left(\frac{i_a}{V_g}\right)_{V_a}$

$g_m$-এর একক হচ্ছে অ্যাম্পিয়ার/ভোল্ট বা মোহ। $i_p$-$e_g$ বৈশিষ্ট্য লেখ (fig. 190) থেকে বোঝা যায় যে, লেখর খাড়া অংশে $g_m$-র মান প্রায় সমান কিন্তু অন্যান্য অংশে এর মান বিভিন্ন। $g_m$-এর মান 0·0005 মোহ থেকে 5 মোহ পর্যন্ত হয়ে থাকে।

**$\mu$, $r_p$ এবং $g_m$ এর মধ্যে সম্পর্ক :**

যেহেতু, $g_m = \left(\frac{i_a}{V_g}\right)_{V_a}$, $r_p = \left(\frac{V_a}{i_a}\right)_{V_g}$ এবং $\mu = \left(\frac{V_a}{V_g}\right)_{i_a}$

সেহেতু, $\mu = \left(\frac{V_a}{V_g}\right)_{i_a} = \left(\frac{V_a}{i_a}\right)_{V_g} \times \left(\frac{i_a}{V_g}\right)_{V_a} = g_m r_p$

বা, $\mu = g_m r_p$.

● **বিবর্ধক রূপে ট্রায়োড ( Triode as an Amplifier ) ঃ**

কোন ট্রায়োড ভালভে গ্রিড এবং ক্যাথোডের মধ্যে অল্প বিস্তারের পরিবর্তী প্রবাহ দিয়ে বেশী বিস্তারের পরিবর্তী প্রবাহ পাওয়াকে **বিবর্ধন** ( amplification ) বলে। এখন আমরা বিবর্ধন কিভাবে হয়, সেটা বুঝতে চেষ্টা ক'রবো। প্রদত্ত চিত্রে ( fig. 191 ) কিভাবে বর্তনী সংযোগ করা হবে, সেটা দেখানো হয়েছে। ট্রায়োড ভালভের P হচ্ছে প্লেট, G হচ্ছে গ্রিড, C হচ্ছে ক্যাথোড এবং F, F হচ্ছে ফিলামেন্ট। ফিলামেন্ট উত্তপ্তকারী ব্যাটারী চিত্রে দেখানো হয়নি। বহির্বর্তনীতে গ্রিড এবং ক্যাথোডের মধ্যে একটি স্থির মানের গ্রিড-বায়াস $V_g$ এমনভাবে দেওয়া হ'ল, যাতে গ্রিডটি ক্যাথোডের তুলনায় ঋণাত্মক থাকে। এর সঙ্গে শ্রেণী-সমবায়ে অল্প বিস্তারের একটি পরিবর্তী প্রবাহের উৎস $e_g$ ( alternating current source ) থাকে। প্লেট ও ক্যাথোডের মধ্যে একটি উচ্চ-বিভব বৈষম্যের ব্যাটারী $V_p$, একটি রোধক R এবং একটি মিলি-অ্যামমিটার শ্রেণী-সমবায়ে যুক্ত থাকে।

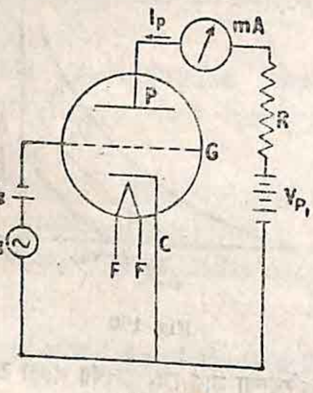



Fig. 191

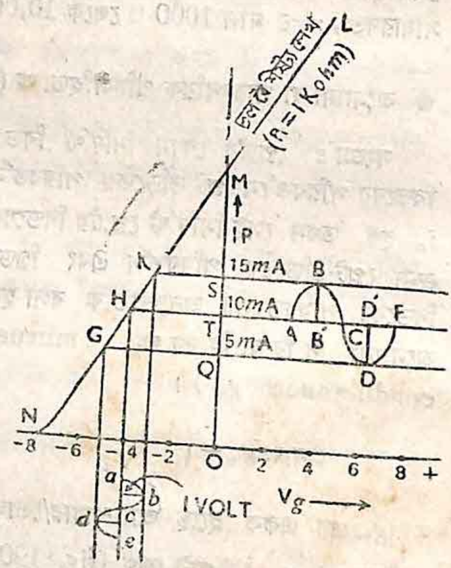



Fig. 192

ধরা যাক, 1000 ওহ্‌ম প্লেট রোধের জন্য **চল-বৈশিষ্ট্য লেখ** হচ্ছে LMN ( fig. 192 )। $V_g$ ($-8$V) হচ্ছে **ছেদ বায়াস**। গ্রিড বায়াসকে $\frac{V_g}{2}$($-4$V -তে রাখলে প্লেট প্রবাহের মান হবে OT (10 $m$A)। এই অবস্থায় গ্রিড বায়াসের সঙ্গে যদি একটি পরিবর্তী প্রবাহের উৎস ( যার বিস্তার 1 ভোল্ট ) যুক্ত করা হয়, তাহলে স্পষ্টই বোঝা যাচ্ছে গ্রিড বায়াস $-4$ ভোল্ট থেকে বাড়তে বাড়তে $-3$ ভোল্ট, আবার কমে $-4$ ভোল্ট হবে। এরপর আরও কমে $-5$ ভোল্ট হবে এবং অবশেষে আবার $-4$ ভোল্টে আসবে। এই আবর্তই চলতে থাকবে। চিত্রে ( fig. 192 ) *abcde* দিয়ে এটি

বোঝানো হয়েছে। লেখটি ভালো ক'রে লক্ষ্য করলে বোঝা যাবে, যখন গ্রিড-বায়াস বেড়ে −3 ভোল্ট হয়েছে, তখন প্লেট প্রবাহের মান OS ( 15 $mA$ )। আবার যখন গ্রিড-বায়াস কমে −5 ভোল্ট হয়েছে, তখন প্লেট-প্রবাহের মান OQ ( 5 $mA$ )। গ্রিডে প্রযুক্ত পরিবর্তী প্রবাহ যদি একটি যথার্থ সাইন-লেখ ( sine curve ) হয়, তাহলে প্লেট-প্রবাহের মানও যথার্থ সাইন-লেখ হবে। দেখা যাচ্ছে যে, প্লেট-প্রবাহের বিস্তার হচ্ছে ST বা TQ ( 5 $mA$ )। এই পরিবর্তনশীল প্লেট প্রবাহ R রোধের মধ্য দিয়েও যাচ্ছে। এখন যে কোন মুহূর্তে R-কে তাৎক্ষণিক প্লেট-প্রবাহের মান দিয়ে গুণ করলে R-র দুই প্রান্তে তাৎক্ষণিক বিভব-বৈষম্যের মান পাওয়া যাবে। যখন পরিবর্তী প্রবাহ ছিল না এবং গ্রিড-বায়াসকে $\frac{V_g}{2}$ ( −4 ভোল্ট) এ রাখা হয়েছিল তখন প্লেট-প্রবাহের মান ছিল OT ( 10 $mA$ )। সেক্ষেত্রে রোধের দুই প্রান্তে বিভব-বৈষম্যের মান ছিল $R \times 10 \times 10^{-3}$ ভোল্ট। গ্রিডে পরিবর্তী প্রবাহের উৎস সংযুক্ত করায় R-এর মধ্যে দিয়ে প্রবাহিত তড়িৎ-প্রবাহের মান পরিবর্তিত হচ্ছে। এই পরিবর্তনের সর্বগরিষ্ঠ মান হচ্ছে ( 5 $mA$ )। তাহলে R-এর দুই প্রান্তে সর্বগরিষ্ঠ পরিবর্তিত বিভব-বৈষম্যের মান হচ্ছে $= R \times 5 \times 10^{-3}$ ভোল্ট। যেহেতু এক্ষেত্রে R-রোধকের মান 1000 ওহ্‌ম, তাহলে সর্বগরিষ্ঠ পরিবর্তিত বিভব-বৈষম্যের মান হচ্ছে $5 \times 10^{-3} \times 10^{3}$ ভোল্ট $= 5$ ভোল্ট। অর্থাৎ, R-এর দুই প্রান্তে আমরা পরিবর্তী তড়িৎ-প্রবাহ পাবো, যার বিস্তার 5 ভোল্ট। অথচ, আমরা গ্রিডে যে পরিবর্তী তড়িৎ-প্রবাহের উৎস সংযুক্ত করেছিলাম তার বিস্তার 1 ভোল্ট। তাহলে দেখা যাচ্ছে, আমরা ট্রায়োডের সাহায্যে পরিবর্তী বিভব-বৈষম্যকে 5 গুণ বাড়িয়ে দিলাম।

প্রসঙ্গত উল্লেখযোগ্য, যে ট্রায়োড নিয়ে এই পরীক্ষা করা হবে, তার **চল-বৈশিষ্ট্য** লেখ খুব খাড়া হতে হবে এবং এই লেখর **সরলরৈখিক অংশ** কাজে লাগাতে হবে।

**134.** অর্ধ-পরিবাহী বলতে কি বুঝ? একটি পরিবাহীর সহিত ইহার পার্থক্য কি? বিশুদ্ধ এবং অবিশুদ্ধ অর্ধ-পরিবাহী বলতে কি বুঝ? N-ধরনের এবং P-ধরনের অর্ধ-পরিবাহীর মধ্যে পার্থক্য কি? P-N সংযুক্তির ব্যাখ্যা দাও। ইহাকে অর্ধ-পরিবাহী ডায়োড বলে কেন?

[What do you mean by semi-conductor. How it differs from a conductor. What do you mean by pure and impure semi-conductor? Write down difference between N-type and P-type semi-conductors. Explain the action of P-N junction. Why is it called a semi-conductor diode ?]

● **অর্ধ-পরিবাহী ( Semi-conductor ):**

পদার্থের তড়িৎ পরিবহণের ক্ষমতা অনুযায়ী আমরা সাধারণতঃ পদার্থদের দু'ভাগে ভাগে ক'রে থাকি। এরা হ'ল পরিবাহী (conductor এবং অপরিবাহী (insulator)। এই দুই-এর মাঝামাঝি একরকম পদার্থ আছে, যারা কিছুটা তড়িৎ-

পরিবহণে সক্ষম। এদের অর্ধ-পরিবাহী বলে। একটি অর্ধ-পরিবাহী বা সেমি-কণ্ডাকটরের রোধাঙ্ক $10^{-9}$ ওহম-সেমি থেকে $10^{-3}$ ওহম-সেমি হয়ে থাকে। পরীক্ষার সাহায্যে দেখা গেছে যে, বিশেষ কয়েকটি বিশুদ্ধ অপরিবাহীর মধ্যে যদি নির্দিষ্ট কোন অপদ্রব্য থাকে, তাহলে সেটি প্রচণ্ড রকমের পরিবাহী হয়ে ওঠে। তখন তার থেকে নানাধরনের ইলেক্ট্রকনীয় কাজকর্ম পাওয়া যায়।

**সংজ্ঞা ঃ** যে সব বিশুদ্ধ কঠিন পদার্থ সাধারণভাবে তড়িতের অপরিবাহী, কিন্তু নির্দিষ্ট অপদ্রবের উপস্থিতিতে তড়িতের সুপরিবাহী হয়ে ওঠে, ইলেকট্রনিকস্-বিজ্ঞানে তাদের অর্ধ-পরিবাহী বা সেমি-কণ্ডাকটর বলে।

● **পরিবাহী এবং অর্ধ-পরিবাহীর পার্থক্য ঃ**

| পরিবাহী | অর্ধ-পরিবাহী |
|---|---|
| 1. যে সকল পদার্থ খুব সহজে তড়িৎ পরিবহণ করতে পারে, তাদের পরিবাহী বলে। | 1. যে সকল বিশুদ্ধ কঠিন পদার্থ তড়িতের অপরিবাহী কিন্তু নির্দিষ্ট অপদ্রব্যের উপস্থিতিতে তড়িতের সুপরিবাহী হয়ে ওঠে, তাদের অর্ধ-পরিবাহী বলে। |
| 2. পরিবাহীর রোধাঙ্কের মান সাধারণতঃ $10^{-6}$ থেকে $10^{-4}$ ওহম সেমি হয়ে থাকে। | 2. অর্ধ-পরিবাহীর রোধাঙ্কের মান সাধারণতঃ $10^{-3}$ থেকে $10^{-4}$ ওহম-সেমি হয়ে থাকে। |
| 3. তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে সাথে রোধাঙ্ক বৃদ্ধি পায়। | 3. তাপমাত্রা বৃদ্ধির সাথে সাথে রোধাঙ্ক হ্রাস পায় এবং তড়িৎ পরিবাহিতা বৃদ্ধি পায়। তাপমাত্রা যত পরম শূন্যের কাছাকাছি হয়, তখন ইহাদের তড়িৎ পরিবাহিতা তত হ্রাস পেয়ে শূন্যের দিকে যায়। |
| 4. ওহম সূত্র মেনে চলে। | 4. ওহম সূত্র মেনে চলে না। |

● **বিশুদ্ধ এবং অবিশুদ্ধ অর্ধ-পরিবাহী ঃ**

**বিশুদ্ধ অর্ধ-পরিবাহী ঃ**

সিলিকন, জারমেনিয়াম প্রভৃতি পদার্থের নিম্ন তাপমাত্রায় কোন মুক্ত ইলেকট্রন বা অন্য কোন আহিত কণা থাকে না ফলে, এই সকল পদার্থের তড়িৎ-পরিবাহী ধর্ম থাকে না। কিন্তু তাপমাত্রা বৃদ্ধি করলে ইলেকট্রনগুলি শক্তি অর্জন করে এবং পরিবহণ-পটিতে চলে যাওয়ায় তড়িৎ-পরিবাহী ধর্ম লক্ষ্য করা যায়। ইহাদের **বিশুদ্ধ অর্ধ-পরিবাহী** বলে।

**অবিশুদ্ধ অর্ধ-পরিবাহী :**

কোন বিশুদ্ধ অর্ধ-পরিবাহী পদার্থের সহিত যথাযথ পরিমাণে উপযুক্ত অপদ্রব্য মিশাইয়া উহার-তড়িৎ পরিবাহিতা ধর্ম বহুগুণ বৃদ্ধি করা যায়। এই ধরনের পদার্থকে **অবিশুদ্ধ অর্ধ-পরিবাহী** বলে।

অবিশুদ্ধ অর্ধ-পরিবাহী দুই প্রকারের যথা :

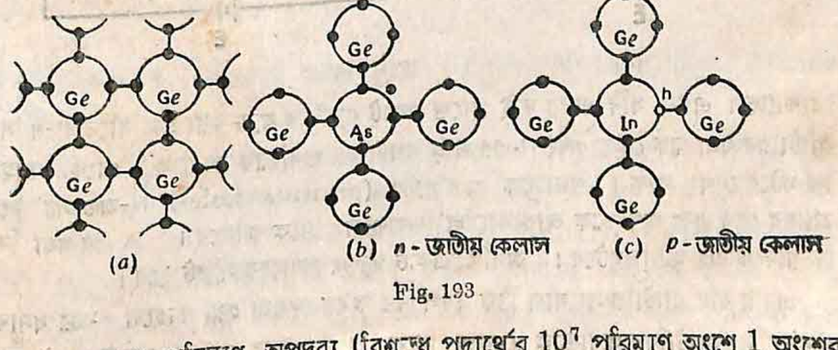
(i) N-জাতীয় অর্ধ-পরিবাহী ; (ii) P-জাতীয় অর্ধ-পরিবাহী।

**N-ধরন এবং P-ধরনের পরিবাহী :**

অর্ধ পরিবাহী দু'রকমের। **যথা :** (i) N-ধরনের এবং (ii) P-ধরনের। N-ধরনের অর্ধ-পরিবাহীকে **দাতা** (donor বা **নিঃসরক** (emitter) বলে এবং F-ধরনের অর্ধ-পরিবাহীকে **গ্রহীতা** (acceptor) বা **সংগ্রাহক** (collector) বলে। দাতা ধরনের অর্ধ-পরিবাহীতে ইলেকট্রনের আধিক্য হয় এবং কঠিন পদার্থের মধ্য দিয়ে এই ইলেকট্রন-গুলির গতি তড়িৎ-প্রবাহের কারণ হয়। ইংরাজী নেগেটিভ শব্দের আদ্যক্ষর N থেকে এদের N ধরনের অর্ধ-পরিবাহী নামকরণ হয়েছে। গ্রহীতা ধরনের অর্ধ-পরিবাহীতে পরমাণুর মধ্যে ইলেকট্রনের ঘাটতি দেখা যায়। ইলেকট্রন কম থাকার জন্য মনে করা যেতে পারে, এরা যেন ধনাত্মক আধানের গর্ত (positive holes) সৃষ্টি করে। একটি পদার্থের পরমাণুর কোন কক্ষে যদি একটি ইলেকট্রন না থাকে, তাহলে সেই জায়গাটিকে আমরা খালি জায়গা বা গর্ত ব'লে কল্পনা করতে পারি। ঐ পদার্থেরই আশেপাশের পরমাণু থেকে একটি ইলেকট্রন এসে শূন্য স্থানটিকে পূর্ণ করতে সচেষ্ট হয়। এর ফলে, অন্য একটি পরমাণুর একটি ইলেকট্রন কম হয়ে যায়। এবার সেই পরমাণুটিতে ধনাত্মক আধানের গর্ত সৃষ্টি হয়েছে ব'লে মনে করা যেতে পারে। অর্থাৎ, আমরা ভাবতে পারি, যেন ধনাত্মক আধানের গর্তটিই গতিশীল। তাই বলা হয়, গ্রহীতা অর্ধ-পরিবাহিতার কারণ হচ্ছে ধনাত্মক আধান যুক্ত চলমান আধান-বহনকারী (carrier)।

নিম্নে N- এবং P-ধরনের অর্ধ-পরিবাহীর চিত্র দেখানো হ'ল।

বিশুদ্ধ জারমেনিয়াম [fig. 193 (a ] কেলাসের গঠন এমন যে, এতে কোন মুক্ত ইলেকট্রন থাকে না। এর ফলে, এটি পরিবাহী হিসাবে ব্যবহৃত হতে পারে না। এখন




(a) (b) n-জাতীয় কেলাস (c) p-জাতীয় কেলাস

Fig. 193

যদি খুব সামান্য পরিমাণ অপদ্রব্য (বিশুদ্ধ পদার্থের $10^7$ পরিমাণ অংশে 1 অংশের

অপদ্রব্যই অর্ধ-পরিবাহীকে পরিবাহী করতে যথেষ্ট) ঢুকিয়ে দেওয়া যায়, তাহলে এটি সুপরিবাহী হয়ে ওঠে।

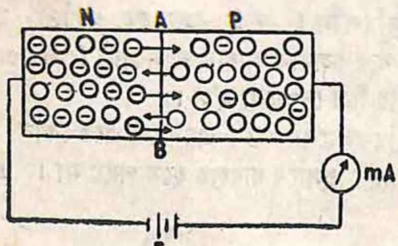
অপদ্রব্য হিসাবে আর্সেনিক ঢোকালে আর্সেনিকের পাঁচটি মুক্ত (valency) ইলেকট্রনের চারটি জারমেনিয়ামের কেলাসের মধ্যে স্থান ক'রে নেয়। তাই, অন্য মুক্ত ইলেকট্রনটি কেলাসের মধ্য দিয়ে পরমাণু থেকে পরমাণুতে চলাচল করতে পারে [ fig. 193 (b) ]। এটিই হ'ল N-ধরনের অপরিবাহী।

অপরপক্ষে, অপদ্রব্য হিসাবে জারমেনিয়ামের মধ্যে যদি রেডন বা ইণ্ডিয়াম ঢুকিয়ে দেওয়া হয়, তাহলে এদের তিনটি মুক্ত ইলেকট্রন জারমেনিয়ামের মধ্যে স্থান ক'রে নেয় এবং একটি ইলেকট্রনে ঘাটতি পড়ে যায়। একেই গর্ত (hole) বলা হয়। পূর্বেই বলা হয়েছে, এই গর্ত বন্ধ করার জন্য আশপাশ থেকে আর একটি ইলেকট্রন ছুটে আসে এবং একইভাবে সেখানকার পরমাণুতে একটি ইলেকট্রনের ঘাটতি তথা গর্তের সৃষ্টি হয়। এই পর্যায়ই চলতে থাকে। তাহলে আমরা মনে করতে পারি, যেন এই গর্তটিই চলছে। ইলেকট্রন নেই ব'লে এটি ধনাত্মক এবং সেইজন্য একে P-ধরনের অর্ধ-পরিবাহী ব'লে অভিহিত করা হয় [fig 193 (c) ]।

সাধারণতঃ অর্ধ-পরিবাহী হিসাবে জারমেনিয়াম বা সিলিকনের ব্যবহার হয়। এদের মধ্যে নানা কারণে জারমেনিয়ামের ব্যবহার বেশী হয়।

**P-N সংযোগ ঃ**

P-N সংযোগ—N এবং P ধরনের দুটি পাতলা জারমেনিয়াম কেলাস জুড়ে তৈরী [fig. 194 (*a*)]। AB হচ্ছে এই দুই ধরনের অর্ধ-পরিবাহীর সন্ধিস্থল। চিত্রে গোলের মধ্যে ড্যাসগুলি মুক্ত ইলেকট্রন এবং ছোট ছোট গোল দাগগুলি ধনাত্মক গর্ত




(*a*)

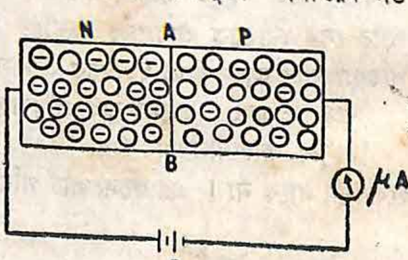



Fig. 194 (*b*)

বোঝাচ্ছে। এখন, যদি এদের দুই প্রান্তে একটি ব্যাটারি যুক্ত করা হয়, যাতে P-র সঙ্গে ব্যাটারির ধনাত্মক মেরু এবং N-এর সঙ্গে ব্যাটারির ঋণাত্মক মেরু যুক্ত থাকে, তাহলে কি ঘটবে দেখা যাক। ধনাত্মক গর্তগুলি (positive holes) N-অঞ্চলের দিকে অগ্রসর হবে এবং ঋণাত্মক আধানগুলি P-অঞ্চলের দিকে আসবে। AB-র মধ্য দিয়ে উভয়দিকে এই ঘটনা ঘটবে। অর্থাৎ, একটি তড়িৎ-প্রবাহের সৃষ্টি হবে।

এবার যদি ব্যাটারি-সংযোগ ঠিক বিপরীত ক'রে দেওয়া হয়, তাহলে P-এর ধনাত্মক গর্তগুলি ব্যাটারির ঋণাত্মক মেরুর দিকে অগ্রসর হবে এবং N-এর ইলেকট্রনগুলি

ব্যাটারির ধনাত্মক মেরুর দিকে অগ্রসর হবে [fig. 194 (*b*)]। স্পষ্টই বোঝা যাচ্ছে যে, AB-র মধ্য দিয়ে কার্যতঃ কোন তড়িৎ-প্রবাহ হবে না। যথার্থ বলতে এই অবস্থাতেও বর্তনীর মধ্য দিয়ে বিপরীত-মুখে সামান্য পরিমাণে তড়িৎপ্রবাহ হবে, তবে পূর্বের তুলনায় এই তড়িৎ-প্রবাহের মাত্রা অত্যন্ত কম fig 95)। তাপীয় কারণে সব সময়েই ইলেকট্রন এবং গর্ত ( hole ) কিছু-না-কিছু পরিমাণে উভয় ধরনের অর্ধ-পরিবাহীতেই সৃষ্টি হয়ে থাকে ব'লে এই তড়িৎ-প্রবাহ হয়ে থাকে। প্রথমক্ষেত্রে 1 ভোল্ট বিভব-বৈষম্যে যদি তড়িৎ প্রবাহের মাত্রা 20 মিলি-অ্যাম্পিয়ার (*m*A) হয়, দ্বিতীয় ক্ষেত্রে 1 ভোল্ট এর জন্য 10 $\mu$A তড়িৎপ্রবাহ হবে। এটি প্রথমটির 2000 ভাগের এক ভাগ মাত্র। তাই বলা যেতে পারে যে, আমরা একমুখীকরণ করতে পারলাম। ব্যাটারির পরিবর্তে পরিবর্তী প্রবাহের উৎস ব্যবহার করলে. ডায়োডের মতোই একমুখী তড়িৎ-প্রবাহ পাওয়া যাবে। ডায়োড ভাল্‌ভ ব্যবহার ক'রে পরিবর্তী প্রবাহকে একমুখী করা যায়। এখানে P-N সংযোগ ডায়োড ভাল্‌ভের মতো কাজ করে ব'লে অনেক সময় একে **অর্ধ-পরিবাহী ডায়োড** বলা হয়।

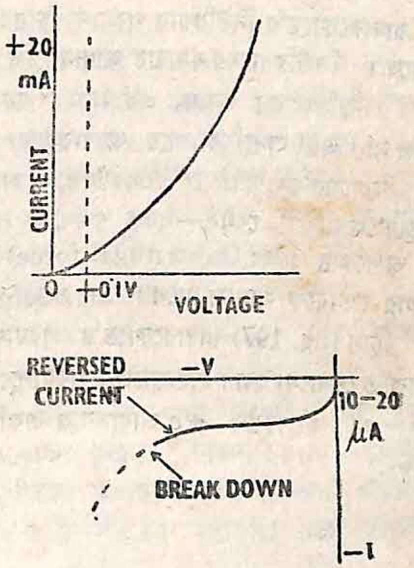


Fig. 195

135. রাদারফোর্ডের পরমাণু-চিত্র আলোচনা কর। সনাতন বলবিদ্যার আলোকে ইহার ত্রুটি আলোচনা কর। বোর তত্ত্বের সাহায্যে কিভাবে এই ত্রুটি দূরীভূত করা যায়, তাহা আলোচনা কর।

[ Discuss Rutherford's atomic model. Discuss its defects on the light of classical mechanics. How are these removed with the help of Bohr's theory. ]

● **রাদারফোর্ডের নিউক্লিয়ার পরমাণু-চিত্র ( Rutherford's Nuclear Atomic Model ) :**

1911 খ্রীষ্টাব্দে রাদারফোর্ড আলফা-কণার বড় কোণ বিক্ষেপণ পরীক্ষা দ্বারা দেখান যে, অতি অল্প সংখ্যক আলফা কণা (প্রতি 20,000-এ একটি) লক্ষ্যবস্তু দ্বারা বেশী পরিমাণে বিক্ষিপ্ত হয়, যেন তারা লক্ষ্যবস্তুর পরমাণুগুলির কোন কোন স্থানে বেশী বিকর্ষণ বল দ্বারা ক্রিয়াশীল হচ্ছে। তিনি বলেন যে, এইরকম তখনই সম্ভব, যখন পরমাণুর ধনাত্মক আধানগুলি তার কেন্দ্রের কোন অতি অল্প স্থানে ঘনীভূত

অবস্থায় থাকে। পরমাণুর কেন্দ্রে এই ঘনীভূত স্থানটিই হ'ল পরমাণুর **নিউক্লিয়াস** (nucleus)। পরমাণুর ইলেকট্রনগুলি নিউক্লিয়াসের চতুর্দিকে ছড়িয়ে আছে।

রাদারফোর্ডের নিউক্লিয়ার পরমাণু-চিত্রের কতকগুলি নির্দিষ্ট সীমা (limitation) আছে। নিউক্লিয়াসের ধনাত্মক আধানগুলি ও তার চারদিকে ইলেকট্রনগুলির মধ্যে যে স্থির তাড়িতিক বল আছে, এর দ্বারা পরমাণুর স্থায়িত্ব (stability) ব্যাখ্যা করা চলে না। এই অসুবিধা দূর করবার জন্য রাদারফোর্ড বলেন যে, কোন পরমাণুর নিউক্লিয়াসের চতুর্দিকে যে ইলেকট্রনগুলি আছে, তা স্থির অবস্থায় নেই—নিউক্লিয়াসের চতুর্দিকে ঘুরছে, যেমন—সমস্ত গ্রহগুলি সূর্যের চারদিকে ঘোরে (fig. 196)। এতে যে অপকেন্দ্র বলের (centrifugal force) সৃষ্টি হয়, তা অতিরিক্ত স্থির তাড়িতিক বলের প্রভাবকে সামলে রাখে। এর ফলে, পরমাণুটি স্থায়ী অবস্থায় থাকে।

চিত্রে (fig. 197) রাদারফোর্ডের পরমাণু-চিত্র অনুসারে হাইড্রোজেন পরমাণুর আকৃতি দেখানো হল। হাইড্রোজেন পরমাণুতে একটি মাত্র ইলেকট্রন থাকে, যার আধান $=-e$। ইলেকট্রন $+e$ আধানযুক্ত একটি নিউক্লিয়াসের চতুর্দিকে একটি বৃত্তাকার



Fig. 196

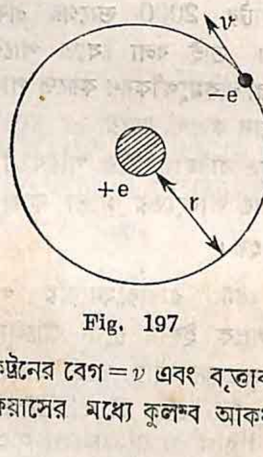



Fig. 197

কক্ষপথে আবর্তিত হতে পারে। মনে করা হ'ল, ইলেকট্রনের বেগ $=v$ এবং বৃত্তাকার কক্ষপথের ব্যাসার্ধ $=r$। এখানে ইলেকট্রন এবং নিউক্লিয়াসের মধ্যে কুলম্ব আকর্ষণ বল

$$=\frac{e^2}{r^2}.$$

এই ইলেকট্রনের বৃত্তাকার পথে আবর্তনের জন্য প্রয়োজনীয় অভিকেন্দ্র বল

$$=\frac{mv^2}{r}$$

যেখানে $m \rightarrow$ ইলেকট্রনের ভর।

অতএব $$\frac{mv^2}{r}=\frac{e^2}{r^2}$$

বা, $$mv^2=\frac{e^2}{r}$$

এই সমীকরণ থেকে দেখা যায় যে, ইলেকট্রনের কক্ষপক্ষের ব্যাসার্ধ ($r$) এবং উহার বেগ ($v$) যে-কোন মানের হতে পারে।

**রাদারফোর্ড পরমাণু-চিত্রের ত্রুটি ঃ**

রাদারফোর্ড পরমাণু-চিত্রের দুটি প্রধান ত্রুটি দেখা যায় ঃ—

(1) ম্যাক্সওয়েলের তড়িৎ-চুম্বকীয় তত্ত্ব অনুসারে কোন ইলেকট্রন অবিরত ঘূর্ণায়মান থাকলে, ইলেকট্রন থেকে তড়িৎ-চুম্বকীয় তরঙ্গরূপে শক্তি বিকিরিত হয়। এই বিকিরণের ফলে ইলেকট্রনের গতিশক্তি হ্রাস পায় এবং উহার পথের বক্রতা হ্রাস পেয়ে ইলেকট্রন অধিকতর দ্রুতগতিতে নিউক্লিয়াসের দিকে অগ্রসর হয় এবং অবশেষে নিউক্লিয়াসের মধ্যে লাফিয়ে পড়ে, ইহাতে পরমাণুর স্থায়িত্ব ব্যাহত হবে।

(2) ঘূর্ণায়মান ইলেকট্রনের ক্ষেত্রে নিরন্তর আলোক-শক্তি বিকিরণের ফলে পরমাণুর অবিচ্ছিন্ন বর্ণালী উৎপন্ন করার কথা কিন্তু পরমাণু রেখা-বর্ণালী সৃষ্টি করে।

পরমাণুর স্থায়িত্ব এবং উহার রেখা-বর্ণালী ব্যাখ্যা করার জন্য বিজ্ঞানী নীলস্ বোর রাদারফোর্ডের পরমাণু-চিত্রের কিছু সংশোধন করেন। বিজ্ঞানী বোর কয়েকটি মৌলিক স্বীকার্যের ভিত্তিতে যে পরমাণু-চিত্রের উপস্থাপন করেন, তাকে বোরের পরমাণু-চিত্র বলা হয়। বোরের স্বীকার্যগুলি সনাতন বলবিদ্যা এবং তড়িৎ-চুম্বকীয় তত্ত্বের সম্পূর্ণ পরিপন্থী।

**বোরের স্বীকার্য ঃ**

প্রথম স্বীকার্য ঃ<br>
দ্বিতীয় স্বীকার্য ঃ } 136-নং প্রশ্নের উত্তর দেখ।<br>
তৃতীয় স্বীকার্য ঃ

বোর এই তিনটি স্বীকার্যের সাহায্যে একটি ইলেকট্রনের শক্তি-সমীকরণ প্রতিষ্ঠা করেন।

● **বোরের ইলেকট্রনের শক্তি-সমীকরণ** ( **Bohr's Energy Equation for Electron** ) ঃ

হাইড্রোজেন সদৃশ যে-কোন পরমাণুর কক্ষপথে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের শক্তি নিচে লেখা উপায়ে গণনা করা যায়। কেন্দ্রীনের আধান $Ze$ ( হাইড্রোজেনের ক্ষেত্রে $Z=1$) ও ইলেকট্রনের আধান $e$ হলে এদের মধ্যে আকর্ষণ-বলের মান $= Ze^2/r^2$. এই আকর্ষণ-বলই প্রয়োজনীয় অভিকেন্দ্র বলের উৎস ব'লে আমরা লিখতে পারি ঃ

$$\frac{mv^2}{r} = Ze^2/r^2 \qquad \text{বা,}\ v = \sqrt{\frac{Ze^2}{mr}} \qquad (1)$$

আবর্তনশীল ইলেকট্রনের মোট শক্তি এর স্থিতিশক্তি ( বিভব-শক্তি ) ও গতিশক্তির যোগফল। সুতরাং, আমরা লিখতে পারি

$$\text{মোট শক্তি}\quad E = -\frac{Ze^2}{r} + \frac{1}{2}mv^2 = -\frac{Ze^2}{2r} \qquad (2)$$

আবার $mvr = n\frac{h}{2\pi}$ ব্যবহার ক'রে পাই

$$\frac{nh}{2\pi mr} = v = \sqrt{\frac{Ze^2}{mr}} \qquad \text{বা,} \qquad r = \frac{n^2h^2}{4\pi^2 Ze^2 m} \tag{3}$$

এটিই $n$-তম স্থির কক্ষের ব্যাসার্ধ। অতএব, $n$-তম কক্ষে ইলেকট্রনের মোট শক্তি

$$E_n = -\frac{Ze^2}{2r} = -\frac{2\pi^2 Z^2 e^4 m}{n^2h^2} \tag{4}$$

(4) নং সমীকরণ থেকে দেখা যায় যে, $n$-এর মান যত বেশী হবে, ইলেকট্রনের মোট শক্তির মান তত বেশী হবে। অর্থাৎ $n=1$ কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তির মান সর্বনিম্ন হবে।

136. বোরের পরমাণু-চিত্রের স্বীকার্যগুলি বিবৃত কর। এই স্বীকার্যগুলির সাহায্যে হাইড্রোজেন পরমাণুর $n$-তম কক্ষপথে একটি ইলেকট্রনের শক্তির রাশিমালা নির্ণয় কর।

[ Mention the postulates of Bohr atomic model. Calculate with the help of these postulates the energy of an elctron rotating along the $n$-th orbit of hydrogen atom. ]

● **বোরের পরমাণু-চিত্র ( Bohr's Atom Model ) :**

1911 খ্রীষ্টাব্দে নোবেল পুরস্কার প্রাপ্ত ড্যানিশ বিজ্ঞানী নীলস্ বোর তাঁর পরমাণু-চিত্র সম্বন্ধীয় তত্ত্ব প্রকাশ করেন। রাদারফোর্ড ও তাঁর আগেকার বিজ্ঞানীরা পরমাণুর গঠন-তত্ত্ব ব্যাখ্যা করতে গিয়ে কেবল সনাতন তত্ত্বে (classical theory) ব্যবহার করেছিলেন। বোরের মতে-সনাতন তত্ত্বের সাহায্যে পরমাণুর গঠন-সম্বন্ধীয় সঠিক ব্যাখ্যা দেওয়া যায় না।

রাদারফোর্ডের পরমাণু-চিত্রে প্ল্যাঙ্কের কোয়াণ্টাম তত্ত্ব প্রয়োগ ক'রে বোর তাঁর পরমাণু-চিত্র অংকন করেন। কোয়ান্টাম তত্ত্ব অনুযায়ী বিভিন্ন বস্তুর মধ্যে শক্তি-বিনিময় সবিরামভাবে বা ঝাঁকে ঝাঁকে ঘটে। শক্তির এই ঝাঁককে **কোয়াণ্টা** (quanta) বলে। প্রতি কোয়াণ্টাতে যে শক্তি থাকে, তা $h\nu$ এর পূর্ণসংখ্যার গুণিতক ( integral multiple )। এখানে $h$ হ'ল **প্ল্যাঙ্কের-ধ্রুবক** ( Planck's constant ) এবং $\nu$ হ'ল বিকীর্ণ শক্তির কম্পাঙ্ক।

পরমাণুর গঠন ব্যাখ্যা করতে বোর কোয়াণ্টাম তত্ত্বের সাহায্য গ্রহণ করেন। এই ব্যাখ্যা করতে গিয়ে তিনি সর্বপ্রথম তিনটি তদর্থক অঙ্গীকার adhoc assumption) করেন। এই অঙ্গীকারগুলি হ'ল :

1. ইলেকট্রনগুলি সেই সব বৃত্তাকার কক্ষে আবর্তন করে, যে সব কক্ষে থাকাকালীন অবস্থায় এরা কোনরকম শক্তি-বিকিরণ করে না। এই সব কক্ষে থাকাকালীন অবস্থায় এদের শক্তি স্থির fixed) থাকে। এই কক্ষগুলিকে **স্থায়ী কক্ষপথ** ( stationary orbit বলে।

2. স্থায়ী কক্ষপথে অবস্থিত ইলেকট্রনগুলিকে কৌণিক ভরবেগের (angular momentum) মান $\frac{h}{2\pi}$-এর একটি পূর্ণসংখ্যার গুণিতক ( integral multiple হবে। $r$ ব্যাসার্ধের কোন একটি কক্ষে যদি $m$ ভরের কোন ইলেকট্রনের সরলরৈখিক বেগ $v$ হয়, তাহলে এর কৌণিক ভর বেগ $= mvr$। এই অঙ্গীকার অনুযায়ী,

$$mvr = \frac{nh}{2\pi} \tag{1}$$

যেখানে $n = 1, 2, 3, \cdots$ ইত্যাদি পূর্ণসংখ্যা ( বা, প্রধান কোয়াণ্টাম সংখ্যা ) এবং $h$ প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক। (1) নং সমীকরণকে বোরের **কোয়াণ্টাম শর্ত** বলে।

$n = 0$ হতে পারে না, কারণ ইলেকট্রনের ভর ($m$) আছে এবং বেগও ($v$) আছে। $n = 0$ হতে গেলে $r = 0$ হতে হয়, সেক্ষেত্রে পরমাণুটি একটি জ্যামিতিক বিন্দুতে পর্যবসিত হবে এবং কক্ষ ব'লে কিছু থাকবে না।

3. যখন কোন ইলেকট্রন কোন নির্দিষ্ট কক্ষ থেকে অন্য নির্দিষ্ট কক্ষে স্থানান্তরিত হয়, তখনই কেবল শক্তি-বিকিরণ সম্ভব। যদি $E_2$ এবং $E_1$ ($E_2 > E_1$) কোন নির্দিষ্ট দুটি কক্ষের ইলেকট্রনের শক্তি হয়, তাহলে শক্তি-বিকিরণের পরিমাণ $E_2 - E_1$। বোরের মতে, এটি $nh\nu$-র সমান। অর্থাৎ

$$E_2 - E_1 = h\nu \tag{2}$$

যেখানে $n = 1, 2, 3, \ldots$ ইত্যাদি পূর্ণসংখ্যা।

$\nu$ হচ্ছে শক্তি-কণার কম্পাঙ্ক। এই শক্তি-কম্পাঙ্ক কেবল দুটি কক্ষের শক্তির উপর নির্ভর করে। (2) নং সমীকরণকে বোরের **কম্পাঙ্ক শর্ত** বলে।

বোর এই তিনটি অঙ্গীকারের সাহায্যে একটি ইলেকট্রনের শক্তি-সমীকরণ বার করেন।

মনে করা হ'ল, $Ze$ আধান-বিশিষ্ট একটি নিউক্লিয়াস বেষ্টন ক'রে $m$ ভর এবং $e$ তড়িৎ-আধান সম্পন্ন একটি ইলেকট্রন $r$ ব্যাসার্ধের একটি স্থায়ী বৃত্তাকার কক্ষপথে $v$ বেগে আবর্তিত হচ্ছে।

সুতরাং, অভিকেন্দ্র বল $= \frac{mv^2}{r}$

এবং কুলম্ব তড়িৎ-আকর্ষণ বল $= \frac{Ze^2}{r^2}$

স্থিরাবস্থায়, $\frac{mv^2}{r} = \frac{Ze^2}{r^2}$

$$\text{বা,} \quad r = \frac{Ze^2}{mv^2} \tag{3}$$

এখন উক্ত স্থায়ী কক্ষপথের শক্তি, ইলেকট্রনের স্থিতিশক্তি এবং গতিশক্তির সমষ্টির সমান। অর্থাৎ

$$E = E_p + E_k$$

যেখানে $E_p$ এবং $E_k$ যথাক্রমে পরমাণুর স্থিতিশক্তি এবং গতিশক্তি।

কেন্দ্রক থেকে $r$ দূরত্বে অবস্থিত ইলেকট্রনের স্থিতিশক্তি

$$E_p = {}_r\int^{\infty} -\frac{Ze^2}{r^2}dr = -\frac{Ze^2}{r}$$

এবং উক্ত কক্ষপথে ইলেকট্রনের গতিশক্তি

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2$$

অতএব, ইলেকট্রনের মোট শক্তি

$$E = E_p + E_k$$
$$= -\frac{Ze^2}{r} + \frac{1}{2}mv^2$$

(3)নং সমীকরণ থেকে আমরা পাই,

$$mv^2 = \frac{Ze^2}{r}.$$

অতএব, ইলেকট্রনের মোট শক্তি,

$$E = -\frac{Ze^2}{r} + \frac{1}{2}\frac{Ze^2}{r}$$
$$= -\frac{Ze^2}{2r}$$
$$= -\frac{1}{2}mv^2 \quad (4)$$

আবার, বোরের দ্বিতীয় স্বীকার্য বা কোয়াণ্টাম শর্ত থেকে আমরা পাই,

$$mvr = \frac{nh}{2\pi} \quad (5)$$

(3)নং সমীকরণ থেকে আমরা পাই,

$$mv^2 = \frac{Ze^2}{r} \quad (6)$$

(5)নং এবং (6)নং সমীকরণদ্বয় থেকে পাই,

$$\frac{mv^2}{mvr} = \frac{Ze^2}{r} \times \frac{2\pi}{nh}$$

বা, $$v = \frac{2\pi Ze^2}{nh} \quad (7)$$

(4)নং সমীকরণে $v$-এর মান বসাইয়া পাই,

$$E = -\frac{1}{2}m\left(\frac{2\pi Ze^2}{nh}\right)^2$$
$$= -\frac{2\pi^2 Z^2 e^4 m}{n^2 h^2} \quad (8)$$

(8)নং সমীকরণ থেকে দেখা যায় যে, $n$-এর মান যত বেশী হবে, ইলেকট্রনের মোট শক্তির মান তত বেশী হবে।

অর্থাৎ $n=1$ কক্ষপথে ইলেকট্রনের শক্তি সব থেকে কম হবে।

হাইড্রোজেন পরমাণুর ক্ষেত্রে $Z=1$, সুতরাং ইলেকট্রনের মোট শক্তি,

$$E=-\frac{2\pi^2e^4m}{n^2h^2} \qquad (9)$$

(9)নং সমীকরণটি হ'ল হাইড্রোজেন-পরমাণুর ক্ষেত্রে ইলেকট্রনের শক্তির রাশিমালা।

**137.** তেজস্ক্রিয়তা কাকে বলে? $\alpha$, $\beta$ এবং $\gamma$-রশ্মির ধর্মগুলি বর্ণনা কর। তেজস্ক্রিয় হ্রাস-সূত্র লেখচিত্রের সাহায্যে ব্যাখ্যা কর। অর্ধায়ু কাকে বলে?

একটি তেজস্ক্রিয় মৌলের অর্ধায়ু 15 ঘণ্টা। যদি মৌলটির প্রারম্ভিক ভর 1 gm হয়, তবে 45 ঘণ্টা পর ঐ মৌলের কতটা পড়ে থাকবে?

[What is radio-activity? Describe the properties of $\alpha$, $\beta$ and $\gamma$-rays. Explain graphically the radio-active decay law. What is half-life? The half-life of a radio-active substance is 15 hours. Obtain the value of residnal amount after 45 hours if the initial mass was 1 gm.]

তেজস্ক্রিয়তা সম্বন্ধীয় বিভিন্ন পরীক্ষা-নিরীক্ষা থেকে আমরা যা যা জানতে পেরেছি, এখন সেগুলি সংক্ষেপে আলোচনা করা হ'ল:

1. যে সব মৌলের পারমাণবিক গুরুত্ব বা ভার 206-এর বেশী, সেই সব পদার্থই তেজস্ক্রিয় ধর্ম দেখায়।

2. তেজস্ক্রিয়তা স্বাভাবিক, স্বতঃস্ফূর্ত ব্যাপার। উষ্ণতার বা চাপের পরিবর্তন, পারিপার্শ্বের যে-কোন বিকিরণ; তড়িৎ বা চৌম্বকক্ষেত্রের প্রয়োগ, কোন্ রাসায়নিক যৌগ থেকে তেজস্ক্রিয় পদার্থটি নেওয়া হয়েছে, পদার্থটি কঠিন বা পাউডার ইত্যাদি কোন রকম বাহ্যিক প্রক্রিয়া তেজস্ক্রিয় বিকিরণকে প্রভাবিত করে না।

3. তেজস্ক্রিয় বিকিরণে কখনো একত্রে $\alpha$-কণা এবং $\beta$-কণা বিকিরিত হয় না।

4. জীবন্ত কোষের পক্ষে তেজস্ক্রিয় বিকিরণ ক্ষতিকারক।

5. তেজস্ক্রিয় বিকিরণ ধনাত্মক তড়িতাহিত কণার প্রবাহ, ঋণাত্মক তড়িতাহিত কণার প্রবাহ এবং তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গের প্রবাহের সমষ্টি।

6. কোন পদার্থের তেজস্ক্রিয় ধর্মের উৎপত্তিস্থল, তার নিউক্লিয়াসে। নিউক্লিয়াসের বাইরে যে সব ইলেকট্রন আছে, তেজস্ক্রিয়তায় তাদের কোন ভূমিকা নেই।

7. নিউক্লিয়াসের ভাঙ্গনের ( disintegration ) জন্য তেজস্ক্রিয় ধর্ম দেখা যায়। এর ফলে, একটি মৌল ধীরে ধীরে আর একটি মৌলে বদলে যায়।

8. তেজস্ক্রিয়তা অবিরাম ( continuous ) ঘটনা, সবিরাম ( intermittent ) নয়। এই সব বৈশিষ্ট্য থেকে আমরা তেজস্ক্রিয়তার সংজ্ঞা দিতে পারি।

**সংজ্ঞা ঃ** যে পদ্ধতি দ্বারা তেজস্ক্রিয় পদার্থ স্বতঃস্ফূর্তভাবে এবং অবিরাম এক ধরনের রশ্মি ( যা আল্‌ফা, বিটা এবং গামা রশ্মির বিকিরণের সমষ্টি ) বিকিরণ ক'রে নিম্নতর পারমাণবিক ভর বা গুরুত্বের অন্য মৌলে রূপান্তরিত হয়, তাকে তেজস্ক্রিয়তা বলে।

**গামা রশ্মির ধর্ম ঃ**

1. গামা রশ্মি অতি ক্ষুদ্র তরঙ্গদৈর্ঘ্যের তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ।
2. গামা রশ্মির কোন ভর বা আধান নেই।
3. গামা রশ্মির বেগ আলোকের বেগের ($3 \times 10^{10}$ cm/sec ) সমান।
4. গামা রশ্মি চৌম্বক বা তড়িৎ-ক্ষেত্র দ্বারা বিচলিত হয় না।
5. গামা রশ্মির আয়নন ক্ষমতা আছে। তবে এই আয়নন ক্ষমতা অত্যন্ত কম।
6. গামা রশ্মি ফটোগ্রাফী প্লেটের উপর প্রতিক্রিয়া সৃষ্টি করে।
7. কয়েকটি পদার্থের উপর গামা রশ্মি আপতিত হয়ে প্রতিপ্রভা সৃষ্টি করতে পারে।
8. গামা রশ্মির পদার্থ ভেদ ক'রে যাবার ক্ষমতা আছে। আল্‌ফা রশ্মি বা বিটা রশ্মির তুলনায় এই ক্ষমতা অত্যন্ত বেশী। 30 cm পুরু লোহাকেও এই রশ্মি সহজে ভেদ ক'রে যেতে পারে।
9. কয়েকটি কেলাস দ্বারা রশ্মির অপবর্তন (diffration ) হয়।
10. তড়িচ্চুম্বকীয় তরঙ্গ ব'লে গামা রশ্মির প্রতিফলন, প্রতিসরণ ইত্যাদি সব আলোকীয় ধর্মই আছে।

● **তেজস্ক্রিয় ভাঙনের সূত্র ( Law of Radioactive Disintegration ) ঃ**

তেজস্ক্রিয় পদার্থ থেকে ক্রমাগত অদৃশ্য বিকিরণের ফলে পদার্থটি এক সময় অতেজস্ক্রিয় পদার্থে পরিণত হয়। এই বিকিরণের উৎপত্তিস্থল হচ্ছে তেজস্ক্রিয় পদার্থের পরমাণুর নিউক্লিয়াস। উদাহরণ হিসাবে বলা যায়, তেজস্ক্রিয় পদার্থ রেডিয়াম, তেজস্ক্রিয় রশ্মি বিকিরণ করতে করতে শেষ পর্যন্ত সীসায় পরিণত হয়।

বিজ্ঞানীরা পরীক্ষা ক'রে দেখেছেন যে, প্রত্যেক তেজস্ক্রিয় পদার্থের পরমাণুগুলি ক্রমাগতই তেজস্ক্রিয় রশ্মি বিকিরণ ক'রে অন্য একরকম তেজস্ক্রিয় মৌলে পরিণত হচ্ছে। এই নতুন মৌলের তেজস্ক্রিয় ধর্ম ও রাসায়নিক ধর্ম মূল মৌলের ধর্মগুলি থেকে সম্পূর্ণ আলাদা। তেজস্ক্রিয় ধর্মের পরিবর্তনের কারণ পরমাণুর ভাঙন। কিন্তু কখন এবং কেন পরমাণু ভাঙ্গবে, সেটা নির্দিষ্ট ক'রে বলা যায় না। এটি হঠাৎ ঘটে যায় এবং একে সম্পূর্ণভাবে দৈব ঘটনা ( chance incidence ) বলা যেতে পারে। 1902 খ্রীষ্টাব্দে রাদারফোর্ড ও সডি পরীক্ষা ক'রে একটি সিদ্ধান্তে এসেছিলেন।

**সূত্র ঃ** কোন মুহূর্তে তেজস্ক্রিয় পরমাণুগুলি ভেঙ্গে যাওয়ার হার ওই সময়ের উপস্থিত অক্ষত পরমাণুর সংখ্যার সঙ্গে সমানুপাতিক।

অর্থাৎ, 1 মি গ্রাম ইউরেনিয়াম প্রতি সেকেণ্ডে $\frac{1}{2}$ মি. গ্রাম ইউরেনিয়ামের দ্বিগুণ আলফা কণা নিঃসরণ করে।

গাণিতিক পদ্ধতিতে এর অর্থ

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \qquad (1)$$

**আল্ফা, বিটা এবং গামা রশ্মির ধর্মাবলী** ( **Properties of $\alpha$, $\beta$ and $\gamma$ Rays** )

আমরা জেনেছি যে, তেজস্ক্রিয় বিকিরণ আল্ফা, বিটা এবং গামা রশ্মির যৌথ বিকিরণ মাত্র। এখন আমরা এদের ধর্ম সম্বন্ধে আলোচনা ক'রবো।

**আল্ফা রশ্মির ধর্মাবলী ঃ**

1. আল্ফা রশ্মি—আল্ফা কণার প্রবাহ। আল্ফা-কণা দ্বি-আয়নিত হিলিয়াম পরমাণু।

2. বিভিন্ন তেজস্ক্রিয় বস্তু থেকে আল্ফা কণা ভিন্ন ভিন্ন বেগ নিয়ে বেরোয়। বেগের মান $1.4 \times 10^9$ cm/sec. থেকে $1.7 \times 10^9$ cm/sec. পর্যন্ত হয়। তেজস্ক্রিয় পদার্থের প্রকৃতির উপর এই বেগের মান কত হবে, সেটা নির্ভর করে। কিন্তু একটি নির্দিষ্ট তেজস্ক্রিয় পদার্থের ক্ষেত্রে এই বেগের মান নির্দিষ্ট।

3. আল্ফা কণা—ধনাত্মক আধান সম্পন্ন। এই কণার আধান $+9.6 \times 10^{-10}$ e. s. u.। এর ফলে, আল্ফা রশ্মি তড়িৎক্ষেত্র এবং চৌম্বকক্ষেত্র দ্বারা বিচলিত হয়।

4. আল্ফা রশ্মি কোন গ্যাসকে আয়নিত করতে পারে। তবে দূরত্ব-বৃদ্ধির সঙ্গে আয়তনের ক্ষমতা কমে যায় এবং একটি নির্দিষ্ট দূরত্বের পর এই ক্ষমতা একেবারেই থাকে না। মাধ্যমের প্রকৃতি, প্রযুক্ত চাপ এবং তেজস্ক্রিয় পদার্থের প্রকৃতির উপর এই দূরত্ব নির্ভর করে। বিটা রশ্মির তুলনায় আল্ফা রশ্মির আয়নন ক্ষমতা প্রায় 100 গুণ বেশী এবং গামা রশ্মির তুলনায় 10,000 গুণ বেশী।

5. আল্ফা কণার ভর একটি হাইড্রোজেন পরমাণুর প্রায় চারগুণ। আল্ফা কণার ভর $6.4 \times 00^{-24}$ gm এবং এর আধান ও ভরের অনুপাত $1.5 \times 10^{14}$ e. s. u./gm.

6. আল্ফা কণা ফটোগ্রাফী প্লেটে তড়িৎ-ক্রিয়া সৃষ্টি করতে পারে।

7. পদার্থ ভেদ ক'রে যাবার ক্ষমতা আল্ফা কণার খুব কম। 0.06 mm পুরু অ্যালুমিনিয়ামের বা অভ্রের পাত আলফা কণাকে সহজেই শোষণ করতে পারে। এমন-কি একটা লেখার কাগজও আল্ফা কণা শোষণ করতে পারে।

8. ধাতু বা অভ্রের পাতলা পাতের ভিতর দিয়ে যাবার সময় আলফা কণা বিক্ষিপ্ত হয়।

9. জিঙ্ক সালফাইড বা বেরিয়াম প্লাটিনোসায়ানাইডে আলফা রশ্মি প্রতিপ্রভা সৃষ্টি করতে পারে।

10. আলফা রশ্মি শরীরের কোন অংশে পড়লে ক্ষতের সৃষ্টি হয়। এই ক্ষত সারানো খুব কষ্টসাধ্য।

**বিটা রশ্মির ধর্ম ঃ**

1. বিটা রশ্মি—ইলেকট্রনের প্রবাহ।

2. বিভিন্ন তেজস্ক্রিয় বস্তু থেকে বিটা রশ্মি প্রচণ্ড বেগে বেরোয়। $0{\cdot}9\times10^{10}$ cm/sec থেকে $2{\cdot}9\times10^{10}$ cm/sec পর্যন্ত এর বেগের মান হয়ে থাকে।

3. বিটা রশ্মি—ঋণাত্মক আধান সম্পন্ন ইলেকট্রন। এর আধান $-4{\cdot}8029\times10^{-10}$ e. s. u. বা $-1{\cdot}602\times10^{-19}$ কুলম্ব।

4. বিটা রশ্মি তড়িৎ এবং চুম্বক ক্ষেত্র দ্বারা বিচলিত হয়।

5. বিটা কণার ভর $9{\cdot}11\times10^{-28}$gm এবং এর আধান ও ভরের অনুপাত $5{\cdot}2\times10^{17}$ e. s. u./gm.

6. বিটা কণার অর্থাৎ ইলেকট্রন দ্বারা সৃষ্ট আয়নন সমবেগ সম্পন্ন আলাদা কণা দ্বারা সৃষ্ট আয়ননের মতো জোরালো হয় না। বিটা কণার বেগ বেশী হলেও এর ভর আলফা কণার তুলনায় প্রায় 7000 গুণ কম ব'লে, এটি কম গতিশক্তি সম্পন্ন। সেজন্য এর আয়নন ক্ষমতা কম।

7. ফটোগ্রাফী প্লেটের উপর বিটা রশ্মি প্রতিক্রিয়া সৃষ্টি করে। এই প্রতিক্রিয়ার তীব্রতা আলফা রশ্মির তুলনায় বেশী।

8. বিটা কণার কঠিন পদার্থ ভেদ ক'রে যাবার ক্ষমতা আছে। এই ক্ষমতা আলফা কণার তুলনায় অনেক বেশী। বিটা রশ্মি সহজেই 1 cm পুরু অ্যালুমিনিয়ামের পাত ভেদ ক'রে যেতে পারে।

9. বিটা রশ্মি বেরিয়াম প্ল্যাটিনোসায়ানাইড, ট্যাংস্টেন ইত্যাদিতে প্রতিপ্রভা সৃষ্টি করতে পারে।

10. পদার্থের মধ্য দিয়ে যাওয়ার সময় বিটা কণা বিক্ষিপ্ত হয়। এই বিক্ষিপ্ততার পরিমাণ আলফা কণার তুলনায় অনেক বেশী।

যেখানে $\frac{dN}{dt}$ = ভাঙ্গনের হার, $\lambda$ = তেজস্ক্রিয় ধ্রুবক (radioactive constant) এবং N = $t$ সময়ে অক্ষত পরমাণুর সংখ্যা।

ঋণাত্মক চিহ্নের অর্থ হচ্ছে—$t$ বাড়লে N হ্রাস পায়। অর্থাৎ, যত সময় যায়, ততই বেশী সংখ্যক পরমাণু ভাঙ্গতে থাকে।

(1) থেকে, $\frac{dN}{N}=-\lambda dt$

ইন্টিগ্রেড বা সমাকলন ক'রে, $\log_e N=-\lambda t+K$ (2)

যেখানে K একটি ধ্রুবক।

যদি শুরুতে ( অর্থাৎ $t=0$) $N_0$ সংখ্যক অভঙ্গুর বা অবিভাজিত পরমাণু থাকে, তাহলে

(2) থেকে $\quad \log_e N_0 = K$ (3)

(2) ও (3) থেকে

$$\log_e N = -\lambda t + \log_e N_0$$

$$\text{বা,} \quad \log_e N - \log N_0 = -\lambda t$$

$$\text{বা,} \quad \log_e \frac{N}{N_0} = -\lambda t \quad \text{বা,} \quad \frac{N}{N_0} = e^{-\lambda t}$$

$$\text{বা,} \quad N = N_0 e^{-\lambda t} \tag{4}$$

এটিই হচ্ছে তেজস্ক্রিয় ভাঙনের সূত্র। পাশের চিত্রে ( fig. 198 ) সময়ের সঙ্গে অক্ষত পরমাণুর পরিবর্তন দেখানো হয়েছে। দেখা যাচ্ছে যে, এটি **সূচকীয় সূত্র** (exponential law) মেনে চলে। লেখচিত্রটি থেকে আমরা বুঝতে পারছি যে, প্রথমে ভাঙ্গন খুব দ্রুত হয় এবং যত সময় যায়, তত ধীরে ধীরে হয়। অবশ্য তাত্ত্বিক দিক থেকে বলা যায় যে, সবগুলি পরমাণু ভাঙ্গার জন্য যে কোন তেজস্ক্রিয় পদার্থের অসীম সময়ের প্রয়োজন।

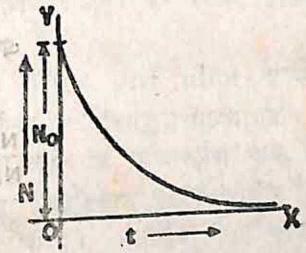



Fig. 133

● **অর্ধায়ু ( Half Life ) ঃ**

যে কোন তেজস্ক্রিয় পদার্থের সম্পূর্ণ ভাঙ্গনের জন্য, তাত্ত্বিক দিক থেকে অসীম সময়ের প্রয়োজন ব'লে আমরা একটি নতুন রাশি ব্যবহার ক'রে বিভিন্ন তেজস্ক্রিয় পদার্থের ভাঙ্গনের হারের বিভিন্নতা বুঝিয়ে থাকি। একে **অর্ধ-পর্যায়** (half period) বা **অর্ধায়ু** (half life) বলে।

**সংজ্ঞা ঃ** কোন তেজস্ক্রিয় পদার্থের প্রারম্ভিক অক্ষত পরমাণুর সংখ্যা অর্ধেক হয়ে যেতে যে সময় নেয়, তাকে **অর্ধায়ু** বা **অর্ধ-পর্যায়** বলে।

তেজস্ক্রিয় ভাঙ্গনের সূত্র থেকে আমরা জানি

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

যদি অর্ধায়ু T দিয়ে সূচিত করা হয়, তাহলে, যখন $t = T$, তখন $N = \frac{N_0}{2}$

$$\text{তাহলে,} \quad \frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T}$$

$$\text{বা,} \quad \frac{1}{2} = e^{-\lambda T} \quad \text{বা,} \quad e^{\lambda T} = 2$$

$$\text{বা,} \quad \lambda T = \log_e 2 = 2{\cdot}303 \times \log_{10} 2 = 0{\cdot}6931$$

$$\text{বা,} \quad T=\frac{0.6931}{\lambda} \qquad (5)$$

দেখা যাচ্ছে যে, তেজস্ক্রিয় ধ্রুবকের (radioactive constant) মান যত বেশী হবে, অর্ধায়ু তত কম হবে। বিপরীত ক্রমে এই ধ্রুবকের মান কম হলে অর্ধায়ু বেশী হবে।

বিভিন্ন তেজস্ক্রিয় পদার্থের বিভিন্ন অর্ধায়ু হয়ে থাকে।

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে,

তেজস্ক্রিয় মৌলটির অর্ধায়ু $T=15$ ঘণ্টা। ইহার ভাঙ্গন ধ্রুবক

$$\lambda=\frac{.693}{T}=\frac{.693}{15}$$

তেজস্ক্রিয়তার ভাঙ্গন সূত্র থেকে আমরা পাই,

$$\frac{N}{N_0}=e^{-\lambda t}$$

এখানে $t=45$ ঘণ্টা এবং $\lambda=\frac{.693}{15}$

$$\frac{N}{N_0}=e^{-\frac{.693}{15}\times 45}$$

$$=e^{-2.079}$$

$$\text{বা,} \quad \frac{N_0}{N}=e^{2.079}$$

$$\text{বা,} \quad \log_e\frac{N_0}{N}=2.079$$

$$\text{বা,} \quad \log_{10}\frac{N_0}{N}=\frac{2.079}{2.303}=.9027.$$

$$\text{বা,} \quad \frac{N_0}{N}=8 \text{ ( প্রায় )}$$

$$\text{বা,} \quad N=\frac{N_0}{8}.$$

$N_0$ সংখ্যক পরমাণু 1 gm ব'লে অবশিষ্ট N পরমাণুর ভর $=\frac{1}{8}=.125$ gm.

**138** কৃত্রিম মৌলান্তর এবং তেজস্ক্রিয় একস্থানিক বলতে কি বুঝ ?

যদি $\alpha$-কণিকা দ্বারা একটি A ভরসংখ্যা ও Z পারমাণবিক সংখ্যা সম্পন্ন কোন কেন্দ্রককে রূপান্তরিত করা হয়, তাহলে (i) প্রোটন নির্গত হবে (ii) যখন নিউট্রন নির্গত হবে, তখন যে কেন্দ্রকগুলি সৃষ্টি হবে, তাদের A এবং Z কত হবে ?

[ What are artificial radio-activity and radio-isotope ?
If ∝ particles be used as projectiles to transmute a nucleus of mass number A and atomic number Z, what would be the mass number and atomic number of the product nucleus if (i) protons are ejected (ii) neutrons are ejected.

● **কৃত্রিম মৌলান্তর (Artificial Transmutation of Elements) ঃ**

আমরা জানি যে, তেজস্ক্রিয় রশ্মি বিকিরণের ফলে কোন তেজস্ক্রিয়-মৌল ধীরে ধীরে অন্য একটি তেজস্ক্রিয় মৌলে পরিবর্তিত হয়ে যায়। এই বিকিরণের উৎপত্তিস্থল পরমাণুর নিউক্লিয়াস এবং পরিবর্তনকালে তেজস্ক্রিয় পদার্থটি আলফা, বিটা ও গামা রশ্মি নির্গত করে। বিজ্ঞানীদের মনে স্বাভাবিকভাবে এই প্রশ্ন উঠলো যে, আলফা এবং বিটা কণা নির্গত হওয়ার ফলে পরীক্ষাধীন মৌল যেহেতু অন্য মৌলে পরিবর্তিত হয়ে যায়, সেহেতু বাইরে থেকে কোন উপায়ে যদি পরমাণুর নিউক্লিয়াসে আলফা কণা ইত্যাদি ঢুকিয়ে দেওয়া যায়—তাহলেও হয়তো এক মৌল কৃত্রিমভাবে অন্য মৌলে রূপান্তরিত হয়ে যেতে পারে।

এই ধারণার বশবর্তী হয়ে ক্যুরী এবং জুলিয়ট (Curie and Juliot কতকগুলি হালকা মৌল, যেমন—বোরন, ম্যাগনেসিয়াম প্রভৃতির নিউক্লিয়াসে পোলোনিয়াম থেকে নির্গত আলফা কণা দিয়ে আঘাত করেন এবং লক্ষ্য করেন যে, মৌলগুলি অন্য মৌলে পরিবর্তিত হয়েছে। তবে এই ধরনের বিক্রিয়ায় নিউক্লিয়াস থেকে প্রোটন, নিউট্রন এবং পজিট্রন (ধনাত্মক ইলেকট্রন) ইত্যাদি বেরোতে পারে। নানাবিধ পরীক্ষার পর বিজ্ঞানীরা লক্ষ্য করেন যে, কোন হালকা মৌলের নিউক্লিয়াসে আলফা কণা দিয়ে আঘাত ক'রে আলফা কণার উৎপত্তি-স্থল সরিয়ে নিলে সেই মৌলের পরমাণু থেকে ক্রমাগত পজিট্রন নির্গত হতে থাকে। পজিট্রন নির্গত হওয়ার হার সূচকীয় সূত্র $N = N_0 e^{-\lambda t}$ মেনে চলে। এইভাবে পজিট্রন নির্গত হতে থাকলে মৌলটির রূপান্তর হতে থাকে এবং শেষ পর্যন্ত এটি একটি স্থায়ী মৌলে পরিণত হয়ে যায়। অ ৎ, কৃত্রিম উপায়েও কয়েকটি মৌলে প্রাকৃতিক তেজস্ক্রিয়তার ধর্ম আরোপ করা যায়।

**সংজ্ঞা ঃ** কোন মৌলকে বাইরে থেকে ∝-কণা প্রোটন, ডয়টেরন (ডয়টেরিয়ামের নিউক্লিয়াস), নিউট্রন, গামা রশ্মি ইত্যাদি দিয়ে আঘাত ক'রে তেজস্ক্রিয় মৌল উৎপন্ন করাকে **কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়তা** (artificial radioactivity) বলে।

1919 খ্রীষ্টাব্দে রাদারফোর্ড নাইট্রোজেন গ্যাসের নিউক্লিয়াস থেকে অক্সিজেনের 17 ভর সংখ্যা বিশিষ্ট একটি একস্থানিক উৎপাদনে সমর্থ হয়েছিলেন। অর্থাৎ, এক্ষেত্রে নাইট্রোজেনের নিউক্লিয়াস পরিবর্তিত হয়ে অক্সিজেন হয়েছে। মধ্যযুগে কিছু ব্যক্তি একটি মৌল থেকে আর একটি মৌল পাওয়ার জন্য নানারকম চেষ্টা করেছিলেন। তাঁদের **অ্যালকেমিস্ট** বলা হ'ত। লোহাকে সোনা করার প্রচেষ্টায় তাঁরা বহু গবেষণা করেছিলেন, কিন্তু সফল হননি। রাদারফোর্ড অবশ্য লোহাকে সোনা করতে সমর্থ হননি, কিন্তু একটি মৌলকে আর একটি মৌলে রূপান্তরিত করতে সমর্থ হয়েছিলেন।

রূপান্তরের মূল তত্ত্ব নিউক্লিয়াসের মধ্যেই আছে—বিজ্ঞানীদের এটি একটি বিরাট আবিষ্কার। নাইট্রোজেন নিউক্লিয়াসের অক্সিজেনে পরিবর্তন হওয়াকে নীচে লেখা উপায়ে প্রকাশ করা হয় ঃ

$$_2He^4 + {}_7N^{14} \rightarrow ({}_9F^{18}) \rightarrow {}_9F^{17} + {}_0n^1$$

$$_9F^{17} \rightarrow {}_8O^{17} + {}_1e^0$$

এখানে ∝-কণা (ভর-সংখ্যা 4 এবং পরমাণু-ক্রমাঙ্ক 2) নাইট্রোজেন পরমাণুর উপর ( ভর-সংখ্যা 14 এবং পরমাণু-ক্রমাঙ্ক 4 ) বর্ষিত হয়ে $_9F^{18}$ অস্থায়ী মৌল উৎপন্ন হয় এবং এটি নিউট্রন নির্গত ক'রে $_9F^{17}$ উৎপন্ন করে। এটি ফ্লোরিনের একটি তেজস্ক্রিয় একস্থানিক। এটি আবার পজিট্রন নির্গত ক'রে স্থায়ী $_8O^{17}$-তে পরিণত হয়।

উপরের সমীকরণের সঙ্গে রাসায়নিক সমীকরণের সাদৃশ্য থাকায় এই ধরনের সমীকরণকে **নিউক্লিয়ার সমীকরণ** ( nuclear equation) বলে।

উপরের উদাহরণটি ∝-কণার সঙ্গে নাইট্রোজেনের বিক্রিয়া দেখানো হয়েছে। এই বিক্রিয়া থেকে দেখা যাচ্ছে যে, কোন মৌলের উপর ∝-কণা বর্ষণ করলে, অস্থায়ী মৌল উৎপন্ন হয় এবং তা থেকে পজিট্রন নির্গত হয়।

নীচে এই ধরনের আরো দুটি উদাহরণ দেওয়া হ'ল ঃ

1. বোরনের উপর ∝-কণা বর্ষিত করলে $_7N^{14}$ অস্থায়ী মৌল উৎপন্ন হয় এবং এটি নিউট্রন নির্গত ক'রে $_7N^{13}$ উৎপন্ন করে। এটি নাইট্রোজেনের একটি অস্থায়ী তেজস্ক্রিয় একস্থানিক। এটি আবার পজিট্রন নির্গত ক'রে স্থায়ী $_6C^{13}$-তে পরিণত হয়। সমীকরণ ঃ

$$_5B^{10} + {}_2He^4 \longrightarrow ({}_7N^{14}) \longrightarrow {}_7N^{13} + {}_0n^1$$

$$_7N^{13} \longrightarrow {}_6C^{13} + {}_{+1}e^0$$

2. অ্যালুমিনিয়ামের উপর ∝-কণা বর্ষণ করলে প্রথমে $_{15}P^{31}$ অস্থায়ী মৌল উৎপন্ন হয় এবং এটি নিউট্রন নির্গত ক'রে $_{15}P^{30}$ তৈরী করে। $_{15}P^{30}$ হচ্ছে ফসফরাসের একটি অস্থায়ী তেজস্ক্রিয় একস্থানিক। এই একস্থানিকটি পজিট্রন নির্গত ক'রে স্থায়ী সিলিকনে পরিণত হয়। সমীকরণ ঃ

$$_{13}Al^{27} + {}_2He^4 \longrightarrow ({}_{15}P^{31}) \longrightarrow {}_{15}P^{30} + {}_0n^1$$

$$_{15}P^{30} \longrightarrow {}_{14}Si^{30} + {}_{+1}e^0$$

নিউক্লিয়ার সমীকরণ বিশেষভাবে অনুধাবনের জন্য নীচে ∝-কণা বর্ষণের ফলে আরো দুটি বিঘটনের উদাহরণ দেওয়া হ'ল ঃ

$$(1)\quad {}_{11}Na^{23} + {}_{2}He^{4} \rightarrow \left({}_{13}Al^{27}\right) \rightarrow {}_{13}Al^{26} + {}_{0}n^{1}$$

$$ {}_{13}Al^{26} \longrightarrow {}_{12}Mg^{26} + {}_{+1}e^{0}$$

$$(2)\quad {}_{9}F^{19} + {}_{2}He^{4} \rightarrow \left({}_{11}Na^{23}\right) \rightarrow {}_{11}Na^{22} + {}_{0}n^{1}$$

$$ {}_{11}Na^{22} \longrightarrow {}_{10}Ne^{22} + {}_{+1}e^{0}$$

প্রত্যেক বিক্রিয়াতেই কিছু-না-কিছু তাপের উদ্ভব বা শোষণ হয়। এটিকে Q দিয়ে সূচিত করা হয়।

এবার প্রোটন এবং নিউট্রনের কয়েকটি বিক্রিয়া দেখানো হচ্ছে ঃ

(*a*) **লিথিয়াম ও প্রোটন কণার বিক্রিয়া ঃ ( P ∝)**

$$ {}_{3}Li^{7} + {}_{1}H^{1} \rightarrow 2\,{}_{2}He^{4} + Q.$$

(*b*) **সোডিয়াম ও প্রোটন কণার বিক্রিয়া ঃ**

$$ {}_{11}Na^{23} + {}_{1}H^{1} \rightarrow ({}_{12}Mg^{24}) \rightarrow {}_{10}Ne^{20} + {}_{2}He^{4} + Q.$$

(*c*) **নাইট্রোজের ও নিউট্রন কণার বিক্রিয়া ঃ**

$$ {}_{7}N^{14} + {}_{0}n^{1} \rightarrow ({}_{7}N^{15}) \rightarrow {}_{6}C^{14} + {}_{1}H^{1} + Q$$

● **তেজস্ক্রিয় একস্থানিক (Radio isotopes) ঃ**

আমরা জানি যে, বিশেষ অবস্থায় কোন কোন মৌলের কতকগুলি পরমাণুর পারমাণবিক গুরুত্ব বদলে যায় কিন্তু তাদের পারমাণবিক ক্রমাঙ্ক সমান থাকে। এই ধরনের পরমাণুকে ওই মৌলের **একস্থানিক** বলা হয়। কতকগুলি একস্থানিকে অল্প সময়ের জন্য কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়তা দেখা যায়। এদের **তেজস্ক্রিয় একস্থানিক** (radio isotopes) বলে। এগুলি সাধারণতঃ নিউক্লিয়ার বিক্রিয়ায় উৎপন্ন হয়। পরীক্ষার সাহায্যে দেখা গেছে যে, কোন নিউক্লিয়ার বিক্রিয়ায় উৎপন্ন নতুন মৌলের প্রকৃতি অত্যন্ত অস্থায়ী, মৌলটি তেজস্ক্রিয় মৌলের মতো ইলেকট্রন, পজিট্রন বা বিটা রশ্মি বিকিরণ ক'রে স্থায়ী অবস্থায় আসে। নীচে এই ধরনের একটি উদাহরণ দেওয়া হ'ল।

$$ {}_{7}N^{14} + {}_{0}n^{1} \rightarrow {}_{7}N^{15} \rightarrow {}_{6}C^{14} + {}_{1}H^{1}$$

$$ {}_{6}C^{14} \rightarrow {}_{7}N^{14} + \beta^{-}$$

এক্ষেত্রে $_6C^{14}$, $\beta$-রশ্মি নির্গমনের দ্বারা স্থায়ী মৌলে এসেছে। তাই $_6C^{14}$ কার্বনের একটি তেজস্ক্রিয় একস্থানিক।

যদিও তেজস্ক্রিয় একস্থানিক চিকিৎসা এবং অন্যান্য নানারকমের দরকারী কাজে লাগে, তবুও এই রশ্মি আমাদের শরীরে প্রবেশ করলে শরীরের অনিষ্ট হয়।

$\alpha$-কণিকার ভর-সংখ্যা 4 এবং পারমাণবিক সংখ্যা 2, তাই $\alpha$ কণিকা যুক্ত করা হলে ভর-সংখ্যা হবে $A+4$ এবং পারমাণবিক সংখ্যা $Z+2$ হবে। এর থেকে প্রোটন নির্গত হলে, প্রোটনের ভর-সংখ্যা 1 এবং পারমাণবিক সংখ্যা 1 ব'লে, ভর-সংখ্যা 1 কমে যাবে এবং পারমাণবিক সংখ্যাও 1 কমে যাবে। এর ফলে, ভর-সংখ্যা $A+3$ হবে এবং পারমাণবিক সংখ্যা $Z+1$ হবে।

আবার নিউট্রনের সংখ্যা 1 এবং পারমাণবিক সংখ্যা 0 (শূন্য) ব'লে, নিউট্রন বেরিয়ে গেলে কেন্দ্রকের ভর-সংখ্যা 1 কমে যাবে, কিন্তু পারমাণবিক সংখ্যা একই থাকবে। অর্থাৎ, কেন্দ্রকের ভর-সংখ্যা $A+3$ এবং পারমাণবিক সংখ্যা $Z+2$ হবে।

**139.** পারমাণবিক ভর একক বলতে কি বুঝ ? ইহার ইলেকট্রন ভোল্টের সহিত সম্পর্ক কি ? কেন্দ্রক বিভাজন এবং কেন্দ্রক সংযোজন সংক্ষেপে ব্যাখ্যা কর।

[What do you mean by atomic mass unit ? How is it related to electron volt ? Explain in brief the nuclear fission and nuclear fusion.]

● **পারমাণবিক ভর একক ( Atomic mass unit, a. m. u.) ঃ**

পারমাণবিক বিজ্ঞানে পরমাণু বা পরমাণু অপেক্ষা ক্ষুদ্রতর কণাসমূহের ভর—পারমাণবিক ভর একক সংক্ষেপে a. m. u. কে পরিমাপ করা হয়।

**সংজ্ঞা ঃ** কার্বন $_6C^{12}$ পরমাণু ভরের $\frac{1}{12}$ অংশকে 1 পারমাণবিক ভর একক বা সংক্ষেপে 1 a. m. u. বলে।

**পারমাণবিক ভর (a. m. u.) এবং ইলেকট্রন ভোল্ট (ev) এর মধ্যে সম্পর্ক ঃ**

আমরা জানি যে, 1 gm পরমাণু $_6C^{12} = 12$ gm.

অতএব, 1 gm পরমাণু ভরে $6{\cdot}0225 \times 10^{23}$ সংখ্যক পরমাণু থাকে ব'লে 1টি

কার্বন পরমাণুর ভর $= \dfrac{12}{6{\cdot}0225 \times 10^{23}}$ gm

$$\text{অতএব } 1 \text{ a. m. u.} = \frac{1}{12} \times \frac{12}{6{\cdot}0225 \times 10^{23}}$$

$$= 1{\cdot}6604 \times 10^{-24} \text{ gm.}$$

বিজ্ঞানী আইনস্টাইনের আগে আপেক্ষিকতাবাদ তত্ত্ব অনুসারে আমরা জানি যে, $E = mC^2$, ইহাকে ভর শক্তির তুল্যতা সূত্র বলে। যেখানে $C$ = আলোকের বেগ $= 2{\cdot}99793 \times 10^{10}$ cms/sec.

সুতরাং $1$ a. m. u. $=1{\cdot}6604\times10^{-24}\times(2{\cdot}99793\times10^{10})^2$ ergs.

$$=\frac{1{\cdot}6604\times10^{-24}\times(2{\cdot}99793\times10^{10})^2}{1{\cdot}6\times10^{-6}}$$

$=931$ MeV

● **কেন্দ্রক বিভাজন বা নিউক্লীয় বিভাজন** ( **Nuclear Fission** ) ঃ

বিশিষ্ট জার্মান বিজ্ঞানী অটো হান ( Otto Hahn ) কৃত্রিম তেজস্ক্রিয়তা লইয়া পরীক্ষাকালে লক্ষ্য করেন যে, ইউরেনিয়ামের নিউক্লিয়াসকে নিউট্রন দ্বারা আঘাত করা হলে ইউরেনিয়াম পরমাণুটি প্রায় দুটি সমান আকারের বড় নিউক্লিয়াসে ভেঙে যায়। 3টি নিউট্রন নির্গত হয়ে থাকে এবং প্রচুর শক্তি মুক্ত হয়। নিউক্লিয়াসের এই জাতীয় ভাঙ্গনকে **কেন্দ্রক বিভাজন** বা **নিউক্লিয় বিভাজন** বলা হয়।

কেন্দ্রক বিভাজনের বিক্রিয়াটি হ'ল নিম্নরূপ ঃ

$$_{92}U^{235}+{_0}n^1\rightarrow{_{56}}Ba^{141}+{_{36}}Kr^{92}+3{_0}n^1$$

বিক্রিয়ার পূর্বে মোট ভর 236·053 a. m. u. এবং বিক্রিয়ার পরে উৎপন্ন কণাগুলির মোট ভর 235·837 a. m. u. পাওয়া যায়,

অতএব, ভর ঘাটতি $=236{\cdot}053-235{\cdot}837$

$=\cdot216$ a. m. u.

এখন $1$ a m. u. $=931$ MeV

সুতরাং, আইনস্টাইনের ভর-শক্তির তুল্যতা সূত্র অনুসারে এই ভর শক্তিতে রূপান্তরিত হয়ে থাকে এবং এই বিভাজন বিক্রিয়ায় যে শক্তি উৎপন্ন হয় তার পরিমাণ

$$E=\cdot216\times931=200 \text{ MeV}.$$

বিজ্ঞানী বোর ( Bohr ) এবং হুইলার ( Wheeler ) কেন্দ্রক বিভাজনকে নিম্নলিখিতভাবে ব্যাখ্যা করেন। তাঁরা বলেন যে, নিউক্লিয়নগুলির মধ্যে ক্রিয়াশীল পারস্পরিক বিনিময় বল এবং প্রোটনগুলির মধ্যে ক্রিয়াশীল বৈদ্যুতিক বিকর্ষণ বল—এই বলদ্বয়ের সাম্যতার দরুন একটি কেন্দ্রক বা নিউক্লিয়াস তার স্থায়িত্ব বজায় রাখে। সুতরাং, একটি কেন্দ্রক বা নিউক্লিয়াসকে একটি গোলাকার আহিত তরল বিন্দু হিসাবে গণ্য করা যেতে পারে। এখন, একটি নিউট্রন $_9U^{235}$ দ্বারা আটক হলে কেন্দ্রকটি উত্তেজিত হবে এবং কেন্দ্রকের মধ্যে কম্পন সৃষ্টি হবে। ফলে, কেন্দ্রকটি গোলাকার

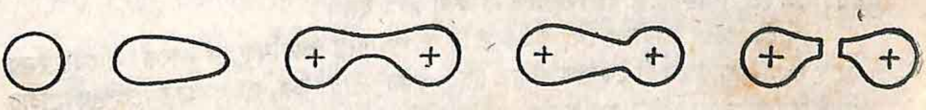


Fig. 199

থেকে ক্রমশঃ উপবৃত্তাকার আকৃতি ধারণ করবে এবং কুলম্ব বিকর্ষনের দরুন দুটি খণ্ডে ভেঙ্গে পড়ে ( fig. 199 ) কেন্দ্রক বিভাজন প্রক্রিয়ায় একাধিক নিউট্রন উৎপন্ন করতে থাকবে।

বিভাজিত এই খণ্ডগুলি থেকেও কিছু কিছু নিউট্রন বের হয়। এই নিউট্রনগুলিকে **বিলম্বিত নিউট্রন** ( delayed Neutrons ) বলা হয়। এই বিলম্বিত নিউট্রনগুলিকে পুনরায় ইউরেনিয়াম নিউক্লিয়াসে প্রবেশ ক'রে বিভাজন ঘটাতে পারে। যদি উৎপন্ন নিউট্রনগুলিকে উপযুক্তভাবে আটকে থাকার সুযোগ পেয়ে থাকে, তবে কেন্দ্রক বিভাজন স্বতঃস্ফূর্তভাবে চলতে পারে। ইহাকে **শৃংখল বিক্রিয়া** ( chain reaction ) বলে। এখানে অতি অল্প সময়ে প্রচুর পরিমাণে শক্তি উৎপন্ন হয়ে থাকে। সাধারণ শৃংখল বিক্রিয়া অতি দ্রুত সম্পন্ন হয়। সুতরাং, অতি অল্প সময়ে যে প্রচুর পরিমাণ শক্তি এখানে উৎপন্ন হয়, তা ধ্বংসাত্মক কাজে ব্যবহৃত হয়। কিন্তু বর্তমানে পরমাণু চুল্লী নামক একপ্রকার যন্ত্রের সাহায্যে এই পারমাণবিক শক্তিকে নিয়ন্ত্রিত ক'রে বহু কল্যাণকর কাজে ব্যবহৃত হচ্ছে।

**কেন্দ্রক বিভাজনের ব্যবহার ঃ**

(i) কেন্দ্রক বিভাজনে পরমাণু বোমা তৈরী করা যায়।
(ii) কেন্দ্রক বিভাজনে উৎপন্ন শক্তিকে তড়িৎ শক্তিতে রূপান্তরিত ক'রে বহু প্রকারের কল্যাণকর কাজে ব্যবহার করা হয়।
(iii) কেন্দ্রক বিভাজন কৃষিকার্যের কাজে ব্যবহৃত হয়।
(iv) ইহার সাহায্যে ফিল্মের বেধ নির্ণয় করা যায়।
(v) জীবাণু ধ্বংস করার কাজে কেন্দ্রক বিভাজন ব্যবহৃত হয়।
(vi) কেন্দ্রক বিভাজনের সাহায্যে বায়ুকে আয়নিত ক'রে বস্ত্র এবং কাগজ শিল্পের কাজে লাগানো হয়।
(vii) রোগ নিরাময়ের জন্যে কেন্দ্রক বিভাজন ব্যবহৃত হয়।
(viii রসায়ন-বিদ্যায় বিক্রিয়ার হার, দ্রাব্যতা এবং আণবিক গঠন ইত্যাদি পর্যালোচনা করার জন্য ইহা ব্যবহৃত হয়।

● **কেন্দ্রক সংযোজন ঃ**

যে পদ্ধতিতে অতি তীব্র তাপমাত্রায় একাধিক হালকা কেন্দ্রকের সংযোজনে একটি ভারী কেন্দ্রক গঠন করা যায়, সেই পদ্ধতিকে **কেন্দ্রক সংযোজন** বলে। এই পদ্ধতিকে কেন্দ্রক বিজ্ঞানের বিপরীত পদ্ধতি বলা যেতে পারে। তীব্র তাপমাত্রায় সংঘটিত হয় ব'লে এই বিক্রিয়াকে **তাপকেন্দ্রক বিক্রিয়া** বলা হয়।

এখানে দেখা গিয়াছে যে, অতি তীব্র তাপমাত্রায় একাধিক কেন্দ্রকের সংযোজনের ফলে যখন একটি ভারী কেন্দ্রক গঠিত হয়, তখন তার ভর, সংযোজিত কেন্দ্রকগুলির মোট ভর অপেক্ষা কিছু কম হয়। আইনস্টাইনের ভর-শক্তির তুল্যতা সূত্র $E = mc^2$ অনুযায়ী এই হ্রাসপ্রাপ্ত ভর শক্তিতে রূপান্তরিত হয়ে মুক্ত হয়। ডয়টেরন ($_1H^2$) এবং ট্রিটিয়াম ($_1H^3$) এর বিক্রিয়ার ফলে 17·6 MeV শক্তি মুক্ত হয়।

বিক্রিয়াটি নিম্নরূপ ঃ

$$_1H^2 + {_1H^3} = {_2He^4} + {_0n^1} + \text{শক্তি}$$

এই সকল বিক্রিয়া অতি তীব্র তাপমাত্রায় ( $10^7$ ডিগ্রী কেলভিন-এর বেশী ) সংঘটিত হয় ব'লে পরমাণুগুলি সম্পূর্ণরূপে বিশ্লিষ্ট হয়ে কেন্দ্রক এবং ইলেকট্রনে পরিণত হয়। পদার্থের এই অবস্থাকে **প্লাজমা** বলা হয়।

হাইড্রোজেন বোমা-প্রস্তুতির কাজে ইহা ব্যবহৃত হয়।

140. আলোক-তড়িৎ ক্রিয়া কাকে বলে ? এই প্রকার নিঃসরণের বৈশিষ্ট্যগুলি লেখ। সূচনা-কম্পাঙ্ক বলতে কি বুঝ ? এই নিঃসরণের বৈশিষ্ট্য থেকে কিভাবে কোয়াণ্টাম পাওয়া যায়, তাহা দেখাও।

[ What is photo-electric effect ? Write down the characteristics of such emission. What do you mean by threshold frequency ? Show that the characteristics of this emission led to discovery of quantum theory. ]

● **আলোক-তড়িৎ ক্রিয়া ( Photo-electric Effect ) :**

ক্ষুদ্র তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের তড়িচ্চুম্বকীয় বিকিরণ (যথা—$\gamma$ রশ্মি, এক্স-রশ্মি, বেগুনীপারের রশ্মি) যখন কয়েকটি বিশেষ পদার্থের উপর আপতিত হয়, তখন পদার্থগুলি থেকে ইলেকট্রন নিঃসরণ হয়। একে **আলোক-তড়িৎ** ( photo electricity ) বলে। নিঃসরণজনিত তড়িৎ-প্রবাহকে **আলোক-তড়িৎ প্রবাহ** ( photo current ) বলে। এইভাবে নিঃসৃত ইলেকট্রনকে অনেক সময় আলোকজ-ইলেকট্রন বলা হয়। ক্ষার ধাতুর (যথা—সোডিয়াম, পটাসিয়াম, সিজিয়াম ইত্যাদি ) আলোকজ-ইলেকট্রন নিঃসরণের বেশী প্রবণতা দেখা যায়।

আলোক শক্তিকে তড়িৎ-শক্তিতে রূপান্তরিত করার জন্য প্রধানতঃ তিনটি ধর্মের উপর নির্ভর করা হয়। যথা—(i) আলোক-নিঃসরণ ( photo-emission ) ধর্ম, (ii) আলোক-সঞ্চারি ( photo-conduction ) ধর্ম (ii) আলোক ভোল্টীয় ( photo-voltaic ) ধর্ম।

1. **আলোক-নিঃসরণ ধর্ম** : যখন দৃশ্যমান আলোকের বা ক্ষুদ্র তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের কোন তড়িচ্চুম্বকীয় বিকিরণ কতকগুলি বিশেষ ধাতুর উপর আপতিত হয়, তখন সেই ধাতু থেকে ইলেকট্রন নিঃসৃত হয়। সোডিয়াম, পটাসিয়াম, সিজিয়াম, রুবিডিয়াম ইত্যাদি ক্ষার ধাতুগুলির উপর দৃশ্যমান আলোক আপতিত হলে আলোকজ-ইলেকট্রন বার হবে। একেই আলোক-নিঃসরণ বলে। এছাড়া অ্যাণ্টিমনি-সিজিয়ামের সংকর ধাতু, বিসমাথ, রূপো ও সিজিয়ামের মিশ্রণ দিয়ে তৈরি পদার্থের উপর সাদা আলো ব্যবহার ক'রে প্রচুর পরিমাণে আলোকজ-ইলেকট্রন পাওয়া যেতে পারে। কিন্তু অন্য সব ধাতুর ক্ষেত্রে দৃশ্যমান আলোকে কোন আলোক-তড়িৎ ক্রিয়া নেই। মুক্ত ইলেকট্রন নিঃসরণের এই ধর্মকে অনেক সময় বহির্মুখী আলোক-তড়িৎ ক্রিয়া ( outer photo-electric effect ) বলা হয়।

2. **আলোক-সঞ্চারি ধর্ম** : সালফারের মতো রাসায়নিক ধর্ম-সম্পন্ন সেলেনিয়াম, লেড সালফাইড ইত্যাদি কতকগুলি পদার্থের তাড়িতিক রোধ অন্ধকারে থাকলে বেশী হয়। অথচ, এদের উপর আলোক আপতিত হলে এদের রোধ কমে যায়। আপতিত আলোকের প্রাবল্য যত বাড়ে, ততই এদের রোধ কমে। কম বিভব-বৈষম্য প্রযুক্ত ক'রে এবং অল্প প্রাবল্যের আলো ব্যবহার করলে দেখা যায় যে, আলোর প্রাবল্যের সঙ্গে পরিবাহিতার বৃদ্ধি সমানুপাতিক হয়। একেই আলোক-সঞ্চারি ধর্ম বলা হয়। আলোর সাহায্যে বার্তা পাঠানোর কাজে **ফটোফোন** যন্ত্রে এই ধরনের ব্যবহারিক প্রয়োগ আছে। মনে রাখতে হবে যে, এক্ষেত্রে কোন মুক্ত ইলেকট্রন বার হয় না, সেজন্য একে অন্তর্মুখী আলোক-তাড়িৎ ক্রিয়া (inner photo-electric effect) বলে।

3. **আলোক ভোল্টীয় ধর্ম** : এই ধর্মের প্রভাবে ধাতব পৃষ্ঠে থেকে মুক্ত আলোকজ-ইলেকট্রনগুলি দুটি পাতের ভিতর বিভব-বৈষম্য সৃষ্টি করে।

কোন তামার চাকতির একপিঠে কিউপ্রাস অক্সাইডের একটি পাতলা প্রলেপ এবং তার উপরে আরও পাতলা একটি সোনার বা রুপোর প্রলেপ দিয়ে আলোক-ভোল্টীয় ব্যবস্থা করা হয়। প্রলেপের উপর যখন আলো আপতিত হয়, তখন তামার পাতের দুই পৃষ্ঠে একটি বিভব-বৈষম্যের সৃষ্টি হয়। প্রলেপযুক্ত অংশে ঋণাত্মক বিভব দেখা যায়। একটি রোধ ও সুবেদী গ্যালভানোমিটার দিয়ে বর্তনী সম্পূর্ণ করলে দেখা যাবে যে তড়িৎপ্রবাহ হচ্ছে। তড়িৎপ্রবাহের পরিমাণ আপতিত আলোর প্রাবল্যের সঙ্গে সমানুপাতিক হয়ে থাকে। আলোকমিটার যন্ত্রে এই ধর্মের ব্যবহারিক প্রয়োগ দেখা যায়। এটিও অন্তর্মুখী আলোক-তাড়িৎ ক্রিয়া, কারণ এতে আলোকজ-ইলেকট্রন বার হচ্ছে না।

বিজ্ঞানী লেনার্ড এর পরীক্ষা এবং পর্যবেক্ষণ থেকে নিম্নলিখিত বৈশিষ্টগুলি পাওয়া যায় :—

1. যদি কোন নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কের আলো, তড়িৎ-দ্বার থেকে ইলেকট্রন বার করতে সক্ষম হয়, তবে আলোক-তাড়িতের মান আলোর তীব্রতার সঙ্গে সমানুপাতিক হয়।

2 একটি নির্দিষ্ট ধাতব দণ্ডের ক্ষেত্রে আলো একটি নির্দিষ্ট ক্ষুদ্রতম কম্পাঙ্ক পর্যন্ত ইলেকট্রন বার করতে পারে। এই নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কের ঠিক নীচের মানের ক্ষেত্রে আলোক-তাড়িৎ প্রবাহ বন্ধ হয়ে যাবে। এই নির্দিষ্ট কম্পাঙ্ককে **প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক** (thres-hold frequency) বলে ($\nu_0$)। এই কম্পাঙ্কের কম কোন কম্পাঙ্কের আলো নির্দিষ্ট ধাতব দণ্ড থেকে আর ইলেকট্রন বার করতে পারে না। বলা বাহুল্য যে, বিভিন্ন ধাতুর প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক বিভিন্ন।

$\nu_0$-এর বেশী এখন আবার যদি বিভিন্ন কম্পাঙ্কের বিকিরণ ব্যবহার করা যায়, তবে বিভব এবং তড়িৎ-প্রবাহের ( potential vs current ) জন্য প্রদত্ত লেখচিত্রগুলি পাওয়া যায়। এই ক্ষেত্রে লক্ষণীয় যে, প্রত্যেক ক্ষেত্রেই তীব্রতা স্থির আছে।

চিত্র ( fig. 200) থেকে দেখা যাচ্ছে যে, বিভিন্ন কম্পাঙ্কের বিকিরণের জন্য একই ধাতুর ক্ষেত্রে বিভিন্ন বিরাম বিভবের ( stopping potential ) প্রয়োজন। এই পরীক্ষাগত পর্যবেক্ষণ থেকে আমরা অন্য একটি সিদ্ধান্তে আসতে পারি—

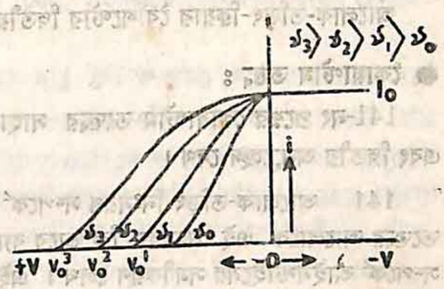


Fig. 200

3. বিকিরণের তীব্রতা যাই হোক না কেন, নিঃসরিত আলোকজ-ইলেকট্রনগুলির গতিশক্তি আলোর কম্পাঙ্কের একটি সরল ,অপেক্ষক ( linear function )। অর্থাৎ, যদি $V_m$ নির্গত ইলেকট্রনের সর্বাধিক বেগ হয়, তবে লেখা যায় $\frac{1}{2}mV_m{}^2 = eV_0$ ( $e$ হচ্ছে ইলেকট্রনের আধান, $m$ = ইলেকট্রনের ভর ও $V_0$ = বিরাম বিভব)। এর থেকে বোঝা যাচ্ছে যে, আলোকজ-ইলেকট্রনের গতিশক্তি কম্পাঙ্কের উপর নির্ভরশীল।

4. আলোক-তড়িৎ ক্রিয়া একটি তাৎক্ষণিক (instantaneous) ঘটনা। বিকিরণ আপতিত হওয়া এবং ইলেকট্রন নিঃসরণ শুরু হওয়ার মধ্যে সময়ের ব্যবধান অত্যন্ত অল্প। সূক্ষ্ম পরীক্ষার সাহায্যে দেখা গেছে যে, এই মান প্রায় $10^{-8}$ থেকে $10^{-9}$ সেকেণ্ড।

5. নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কের বিকিরণের ক্ষেত্রে ইলেকট্রনগুলি যে-বেগ নিয়ে নিঃসৃত হয়, তার মান শূন্য থেকে একটি নির্দিষ্ট সংখ্যার মধ্যে থাকে। কোন একটি ইলেকট্রন যে বেগ লাভ করবে, সেই বেগের মান আপতিত বিকিরণের প্রাবল্যের উপর নির্ভরশীল নয়।

বিজ্ঞানী মিলিক্যান নিঃসরিত ইলেকট্রনের সর্বাধিক শক্তি (maximum energy) ($\frac{1}{2}mv^2 = eV$) এবং আলোর কম্পাঙ্ক $\nu$-এর মধ্যে একটি সম্পর্ক স্থাপন করেন। সেই অনুসারে $eV$ এবং $\nu$-এর একটি লেখ আঁকলে সেটি সরলরেখা হয় (fig. 201)। চিত্র থেকে দেখা যাচ্ছে, পদার্থের এমন একটি নির্দিষ্ট কম্পাঙ্ক থাকে ($\nu_0$), যার কম কম্পাঙ্ক হলে আলোক-তড়িৎ ক্রিয়া দেখা যাবে না। একেই প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক ( threshold frequency ) বলে। এই লেখর সমীকরণকে লেখা যায় $eV = a\nu - e_b$ যেখানে $a$ এবং $e_b$—দুটি ধ্রুবক। পরে প্রমাণিত হয় যে, ঐ লেখর নতি (slope)-এর মান প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক $h$-এর সমান। অতএব, সমীকরণটিকে আরও সঠিকভাবে লিখে পাই :

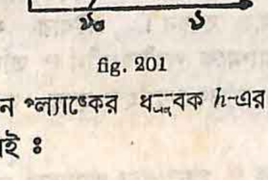


fig. 201

$$eV = h\nu - e_b \tag{1A}$$

● **সূচনা-কম্পাঙ্ক বা প্রারম্ভ-কম্পাংক (Threshold Frequency) :**

আলোক-তড়িৎ-ক্রিয়ার বৈশিষ্ট্যের দ্বিতীয় অংশের উত্তর দেখ।

● **কোয়াণ্টাম তত্ত্ব :**

141-নং প্রশ্নের কোয়াণ্টাম তত্ত্বের সাহায্যে আলোক-তড়িৎ ক্রিয়ার ব্যাখ্যার প্রথম এবং দ্বিতীয় অনুচ্ছেদ দেখ।

**141.** আলোক-তড়িৎ নিঃসরণ সম্পর্কে একটি সংক্ষিপ্ত টীকা লেখ। কোয়াণ্টাম তত্ত্বের আলোকে এই নিঃসরণ কি ভাবে ব্যাখ্যা করা যায়? আলোক-তড়িৎ নিঃসরণ সম্পর্কে আইনস্টাইনের সমীকরণ লেখ। এই সমীকরণ কি ভাবে পাওয়া যায়?

[Write short notes on Photo-electric emission. How can such emission be explained on the light of quantum theory? Write down Einstien equation for the photo-electric emission. How is the equation obtaiued? ]

● **আলোক-তড়িৎ নিঃসরণ :**

1887 খ্রীষ্টাব্দে বিজ্ঞানী ক্লার্ক ম্যাক্সওয়েল (Clerk Maxwell) প্রথম তড়িৎ-চুম্বকীয় মতবাদকে গাণিতিক আকারে প্রকাশ করেছেন। আর এই প্রকাশনার পরেই বিজ্ঞানী হার্টজ্ (Hertz) ম্যাক্সওয়েলের গাণিতিক মতবাদকে পরীক্ষাগতভাবে প্রমাণ করার জন্য নানারকম পরীক্ষা-নিরীক্ষা চালাচ্ছেন। ঠিক এই সময় তিনি আশ্চর্যজনকভাবে লক্ষ্য করেন যে, কোন একটি তড়িৎ-বর্তনীতে দুটি বিভিন্ন বিভবে রাখা তড়িৎ-দ্বারের ফাঁকে (gap) যদি কোন উপায়ে অতি-বেগুনী রশ্মি (ultraviolet ray) পাঠানো যায়, তবে স্ফুলিঙ্গ সৃষ্টি হয়। এর কয়েক বছর পর বিজ্ঞানী হল্ওয়াক্ (Hallwach), এল্স্টার (Elester) এবং গিটাল (Gietel) হার্টজ্-এর এই পরীক্ষালব্ধ ঘটনাকে সঠিকভাবে প্রমাণ করার জন্য একটি অত্যন্ত সাধারণ পরীক্ষা করেন।

**পরীক্ষা :** P এবং S দুটি ধাতব তড়িৎ-দ্বারকে একটি কোয়ার্জ (quartz) বাল্ব এর মধ্যে রাখা আছে এবং বাল্বটিকে প্রায় যথাসম্ভব শূন্য চাপে রাখা হয়েছে। এইবার P এবং S-কে একটি ব্যাটারি E এবং গ্যালভানোমিটার G-এর সঙ্গে শ্রেণী-সমবায়ে যুক্ত করা হয়। প্রথমে বিজ্ঞানীরা P তড়িৎ-দ্বারকে ব্যাটারীর ঋণাত্মক প্রান্ত এবং S-কে ধনাত্মক প্রান্তের সঙ্গে যুক্ত করেন। এইবার যদি অতি-বেগুনী রশ্মিকে পরীক্ষাধীন P তড়িৎ-দ্বারে ফেলা যায়, তবে দেখা যায় যে, তড়িৎ-বর্তনীতে তড়িৎ প্রবাহিত হচ্ছে, অর্থাৎ গ্যালভানোমিটারের কাঁটার বিক্ষেপ হচ্ছে (fig. 202)।

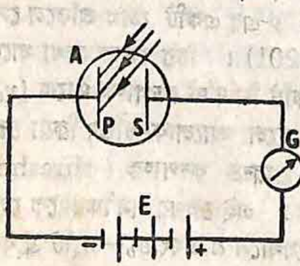


Fig. 202

এরপর বিজ্ঞানীরা শুধু ব্যাটারীর ধনাত্মক মেরুটিকে P প্রান্ত এবং ঋণাত্মক মেরুটিকে S-প্রান্তের সঙ্গে যুক্ত করলেন, এইবারও যথারীতি অতি-বেগুনি রশ্মি P-তড়িৎ-

দ্বারে আপতিত করা হ'ল। কিন্তু দেখা গেল, বর্তনীতে কোনরকম তড়িৎ প্রবাহিত হচ্ছে না।

তড়িৎ-প্রবাহের অভিমুখ থেকে বোঝা যায় যে, P প্রান্ত থেকে S প্রান্তের দিকে ঋণাত্মক আধান প্রবাহিত হয় এবং এই আধান ধনাত্মক তড়িৎ-দ্বার কর্তৃক আকৃষ্ট হয়ে বর্তনীতে তড়িৎরূপে প্রবাহিত হয়ে যায়; কিন্তু ধনাত্মক তড়িৎ-দ্বারের ক্ষেত্রে এইরকম কোন ঘটনা ঘটে না। তাই বলা যায়, প্রথম ক্ষেত্রে বর্তনীতে তড়িৎ-প্রবাহের একমাত্র কারণ অতি-বেগুনী রশ্মি (আলো)। যেহেতু এই ঘটনাটি আলো-সম্পর্কিত ঘটনা, সেইজন্য একে বলা হয় আলোক-তড়িৎ সম্পর্কিত ঘটনা (photo-electric phenomenon)।

এর পরেই 1898 খ্রীষ্টাব্দে বিজ্ঞানী থমসন (Thomson) প্রমাণ করেন যে, উক্ত ঘটনায় যে সমস্ত ঋণাত্মক আধান বেরোয়, তাদের আধান এবং ভরের অনুপাত ($1{\cdot}2 \times 10^7$ e. m. u.) সঠিক ভাবেই ইলেকট্রন-এর আধান এবং ভরের অনুপাতের সমান। অতএব, থমসন-এর এই পরীক্ষার পরেই নিশ্চিতভাবে বলা যায়, যে সমস্ত ঋণাত্মক আধান আলোক-তড়িৎ সম্পর্কিত ঘটনায় কোন ধাতব তড়িৎদ্বার থেকে বেরোয়, তাহা ইলেকট্রন ছাড়া আর কিছুই নয়। তাই, এদের বলা হয়—আলোকজ-ইলেকট্রন এবং এর জন্য বর্তনীতে যে তড়িৎ প্রবাহিত হয়, তাকে **আলোক-তড়িৎ প্রবাহ** (photo-current) বলে।

এর আরো পরে দেখা গেল যে, অনেক ধাতুই এই ধরনের ঘটনায় সাড়া দেয়, যেমন —দস্তা, ম্যাগনেসিয়াম, সোডিয়াম ইত্যাদি। বিশেষ ক'রে ক্ষার-জাতীয় ধাতু (alkali metals), এই ঘটনায় আরো বেশী সংবেদনশীল (sensitive)। এরা এমন কি সাধারণ যে আলো আমরা দেখে থাকি (visible light), সেই আলোতেই এই রকম ঘটনা ঘটাতে পারে। অতএব এর থেকে বোঝা গেল যে, আলোকজ-তড়িৎ-সম্পর্কিত ঘটনা ইলেকট্রন-নিঃসরণকারী বস্তু (electron emitter) এবং ব্যবহৃত আলোর ধর্মের ওপর নির্ভর করে।

আলোক-তড়িৎ সম্পর্কিত ঘটনার চারিত্রিক বৈশিষ্ট্য লক্ষ্য করার জন্য বিজ্ঞানী লেনার্ড একটি পরীক্ষা করেন। তাঁর পরীক্ষা থেকে আলোক-তড়িৎ ক্রিয়ার নিম্নলিখিত বৈশিষ্ট্যগুলি পাওয়া যায় ঃ—

(i) আলোক-তড়িৎ ক্রিয়া একটি তাৎক্ষণিক ঘটনা।

(ii) আলোক-তড়িতের প্রবাহমাত্রা আপতিত রশ্মি তীব্রতার সমানুপাতিক।

(iii) প্রত্যেক ধাতুর ক্ষেত্রেই একটি নির্দিষ্ট নিম্নতম কম্পাঙ্ক থাকে। এর চেয়ে কম কম্পাঙ্কের কোন আলোকরশ্মি ধাতব তলে পড়লে আর কোন ইলেকট্রন নিঃসরণ হবে না।

(iv) নির্দিষ্ট কম্পাঙ্কের আলোকের ক্ষেত্রে ইলেকট্রনগুলি যে গতিবেগ লইয়া নির্গত হয়, তাহা শূন্য মান থেকে নির্দিষ্ট সর্বোচ্চ মান পর্যন্ত বৃদ্ধি পায়।

(v) আপতিত আলোর কম্পাঙ্ক বৃদ্ধি পেলে আলোকজ-ইলেকট্রনের গতিশক্তি বৃদ্ধি পায় এবং কম্পাঙ্ক হ্রাস পেলে গতিশক্তি হ্রাস পাবে।

আলোক-তড়িৎ ক্রিয়া আবিষ্কারের পর বিজ্ঞানীরা আলোকের সনাতন তরঙ্গ তত্ত্বের সাহায্যে আলোক-তড়িৎ ক্রিয়ার ব্যাখ্যা দেওয়ার চেষ্টা করেন। কিন্তু এই ক্রিয়ায় এমন কতকগুলি বৈশিষ্ট্য দেখা যায়, যেগুলি তড়িৎচুম্বকীয় বিকিরণকে তরঙ্গ ধরে ব্যাখ্যা করা যায় না।

আলোক-তরঙ্গ তত্ত্বের ব্যর্থতার পর বিজ্ঞানী আইনস্টাইন কণিকাবাদ তত্ত্বের সাহায্যে আলোক-তড়িৎ ক্রিয়ার ব্যাখ্যা দেন। এর পূর্বে ম্যাক্স প্ল্যাংক কৃষ্ণ বস্তুর বিকিরণের ক্ষেত্রে প্রথম বিকিরণ কণিকাবাদ প্রতিষ্ঠা করেন। এই তত্ত্ব অনুসারে এক বস্তু থেকে অন্য বস্তুতে শক্তির বিনিময় নিরবচ্ছিন্নভাবে হয় না। এখানে বিকিরণ অজস্র কণিকার সমষ্টি। প্ল্যাঙ্কের মতবাদ অনুসারে বিকীর্ণ শক্তির পরিমাণ $E = h\nu$ যেখানে $h$ = প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক, $\nu$ = বিকীর্ণ শক্তির কম্পাঙ্ক।

প্ল্যাঙ্কের কোয়াণ্টাম তত্ত্বের সাহায্যে আইনস্টাইন আলোক-তড়িৎ ক্রিয়ার ব্যাখ্যা দিতে সমর্থ হন। তার মতে, **আলোক-তড়িৎ ঘটনা হ'ল আলোকজ-ইলেকট্রন এবং পরমাণুর ইলেকট্রনের স্থিতিস্থাপক সংঘাতের ফল।**

আলোক-তড়িৎ ক্রিয়া সম্পর্কিত আইনস্টাইনের সমীকরটি হইল নিম্নরূপ ঃ

$$\tfrac{1}{2}mv^2 = h\nu - h\nu_0$$

কণিকাবাদের প্রয়োগে আলোক-তড়িৎ ক্রিয়ার ব্যাখায় যে সাফল্য পাওয়া যায়, তাহা অত্যন্ত গুরুত্বপূর্ণ। পরে দেখা গিয়াছে যে, শুধু আলোকের ক্ষেত্রে নহে, বস্তুকণামাত্রেরই কণিকা এবং তরঙ্গ—এই দুই প্রকার আচরণ বিদ্যমান।

**কোয়াণ্টাম তত্ত্বের সাহায্যে আলোক-তড়িৎ সম্পর্কিত ঘটনার ব্যাখ্যা** (Explanation of photo-electricity with the help of quantum theory) ঃ

যখন আলোক-তড়িৎ সম্পর্কিত ঘটনা আবিষ্কৃত হয়, ঠিক তার আগেই ম্যাকসুওয়েলের আলোর তড়িৎ-চুম্বকীয় মতবাদ প্রকাশিত হয়। এর পরে যদিও প্ল্যাংক-এর (Max Planck) কোয়াণ্টাম তত্ত্ব আবিষ্কৃত হয়, তবুও তখনকার বিজ্ঞানীরা আলোক-তড়িৎ সম্পর্কিত ঘটনাকে তড়িৎ-চুম্বকীয় মতবাদের সাহায্যে ব্যাখ্যা করতে চাইলেন। কিন্তু ঘটনাচক্রে আলোক-তড়িৎ সম্পর্কিত ঘটনাকে পরীক্ষাগতভাবে দেখা গেল যে, এই ঘটনায় ইলেকট্রনগুলি কোন ধাতব দণ্ড থেকে তাৎক্ষণিক পদ্ধতিতে নির্গত হয়। কিন্তু আলোর তরঙ্গবাদ অনুযায়ী কোন শক্তির শোষণ ও বর্জন হয় নিরবচ্ছিন্ন ভাবে। অর্থাৎ, কোন পদার্থ থেকে যে কোন কম্পাঙ্কের বিকিরণের জন্য ইলেকট্রন নির্গমন হওয়া উচিত। কিন্তু এই ধরনের কোন ঘটনা লক্ষ্য করা গেল না। তাই, তখনকার বিজ্ঞানীরা মনে করলেন এতে তরঙ্গবাদ-বহির্ভূত কোন ঘটনা ঘটেছে। এর অন্য একটি কারণ হিসাবে বলা যায় যে, কোন তরঙ্গ কোন ধাতব পদার্থের পরমাণুগুলিতে যথেষ্ট পরিমাণ শক্তি বিনিয়োগ ক'রেও সেই ধাতব পদার্থ থেকে ইলেকট্রন বার

করতে পারে না। অতএব নিশ্চিতভাবে বলা যায় যে, এখানে ঘটনাটি একটি সংঘর্ষ-জনিত ঘটনা ( collision type process )। 1905 খ্রীষ্টাব্দে আইনস্টাইন এই ঘটনাটিকে প্ল্যাঙ্কের কোয়াণ্টাম তত্ত্বের সাহায্যে সম্পূর্ণভাবে ব্যাখ্যা করেন। তাঁর এই কাজের জন্যই মহাবিজ্ঞানী আইনস্টাইন ( Einstein ) 1921 খ্রীষ্টাব্দে নোবেল পুরস্কার দ্বারা সম্মানিত হন।

আইনস্টাইনের মতবাদ অনুযায়ী আলো শক্তির (energy) নিরবচ্ছিন্ন ধারা (flow) নয় (light is not a continuous flow of energy )। অপরপক্ষে, আলোক-কণিকাগুলি সঞ্চিত শক্তির আকারে বিচ্ছিন্ন ধারায় নির্গত হয় (light is in the form of discrete energy packets )। আলোর এইরকম কণিকাগুলিকে বলা হয় ফোটন ( photon )। যদি $\nu$ এই কণিকার কম্পাঙ্ক হয়, তবে এদের শক্তি ( energy ) $e=h\nu$ ($h$ হচ্ছে প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক $=6{\cdot}625\times10^{-27}$ erg-sec )।

কোন ধাতব বস্তুর পরমাণুতে অবস্থিত নিউক্লিয়াসের চারদিকে ইলেকট্রনগুলি স্থির তড়িৎ-জনিত আকর্ষণের ফলে কয়েকটি নির্দিষ্ট কক্ষে ঘুরতে থাকে। কক্ষপথে ঘোরার সময়ে ইলেকট্রনগুলি যে শক্তি নিয়ে ঘুরতে থাকে, তাদের ঐ ইলেকট্রনের বন্ধন শক্তি $e_b$ ( binding energy ) বলে। এখন যদি ইলেকট্রনগুলিকে এদের কক্ষপথ থেকে বিচ্যুত করতে হয়, তবে বাইরে থেকে অপর কোন শক্তি দিয়ে এদের আঘাত করতে হবে। ফোটন কণাকে এক্ষেত্রে প্রয়োজনীয় শক্তি হিসাবে ব্যবহার করা যায়। যদি আঘাতকারী ফোটনের শক্তি $e$, বন্ধন শক্তি $e_b$-এর থেকে কম হয়, তবে ফোটন কণা ইলেকট্রন দ্বারা বিক্ষিপ্ত হবে। আবার যদি $e$, $e_b$-এর সমান হয় ($e=e_b$) তবে ফোটন কণা ইলেকট্রন দ্বারা শোষিত ( absorbed ) হবে এবং ইলেকট্রনটি ধাতব বস্তুর পরমাণু থেকে শূন্য গতিশক্তি (zero kinetic energy) নিয়ে বেরিয়ে আসবে। কারণ, এক্ষেত্রে ফোটনের সমস্ত শক্তি ইলেকট্রনটি ধাতব বস্তুর তল থেকে বেরিয়ে আসতে প্রয়োজনীয় শক্তি হিসাবে ব্যবহৃত হয়ে যাবে। আবার যদি $e$, $e_b$-এর চেয়ে বেশী ($e>e$) হয়, সেক্ষেত্রেও ফোটনটি ইলেকট্রন দ্বারা শোষিত হবে, তবে ইলেকট্রনগুলি কিছু পরিমাণ গতিশক্তি নিয়ে বেরোবে। সুতরাং, ইলেকট্রনকে এর কক্ষপথ থেকে বিচ্যুত করতে হলে কমপক্ষে এর বন্ধন শক্তি, $e_b$-এর সমান শক্তি প্রয়োগ করতেই হবে।

এখন যদি ইলেকট্রনের বেগ $v$ এবং ভর $m$ হয়, তবে, শক্তির নিত্যতা সূত্র অনুযায়ী বলা যায় যে, ফটো ইলেকট্রনের গতিশক্তি = ফোটনের শক্তি − বন্ধন শক্তি।

$$\tfrac{1}{2}mv^2=h\nu-e_b \qquad (1B)$$

এই সমীকরণকে আইনস্টাইনের বিখ্যাত ফটো-তড়িৎ সম্পর্কিত সমীকরণ বলা হয়।

যখন $\nu=\nu_0$, তখন যদি $h\nu_0=e_b$ হয়, তবে ইলেকট্রনগুলি নির্গত হবে শূন্য গতিশক্তি নিয়ে। এক্ষেত্রে ফটো-ইলেকট্রনগুলির কম্পাঙ্ককে ($\nu_0$) বলা হয় **প্রারম্ভ-কম্পাঙ্ক** (threshold frequency )

মিলিকান (Milikan) আইনস্টানের এই সমীকরণকে পরীক্ষাগতভাবে প্রমাণ করেন এবং তিনি $h$-এর যে মান গণনা করেন, তা অন্য যে কোন পদ্ধতিতে লব্ধ $h$-এর মানের সমান। এটা আইনস্টাইনের ফটো-তড়িৎ সম্পর্কিত সমীকরণের পক্ষে বলিষ্ঠ সমর্থন ব্যতীত আর কিছু নয়।

পূর্ব আলোচনা থেকে বলা যায়, যখন $\nu = \nu_0$

$$\text{তখন } e\text{V} = 0, \quad \therefore \quad e_b = +h\nu_0. \qquad [\,1\,(\text{A}) \text{ থেকে}\,]$$

অতএব (1-A) সমীকরণ থেকে লেখা যায়

$$e\text{V} = h(\nu - \nu_0) \qquad 1.(\text{C})$$

ধাতব-পৃষ্ঠের বন্ধন থেকে ইলেকট্রনকে মুক্ত করতে যে পরিমাণ কাজ করতে হয়, তার মান $h\nu_0$, ($\nu_c$ = প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক)। $e_b$ বা $h\nu_0$-কে **ফটো-তড়িৎ কার্য অপেক্ষক** (photo-electric work function) বলা হয়। কার্য অপেক্ষকের মান ইলেকট্রন-ভোল্টে (electron volt) প্রকাশ করা হয়। পটাসিয়ামের ক্ষেত্রে এর মান 1·75 $ev$ এবং প্ল্যাটিনামের ক্ষেত্রে 5·3 $ev$।

উপরের সমীকরণগুলি থেকে আমরা লিখতে পারি,

$$\tfrac{1}{2}mv^2 = h\nu - e_b \qquad 1\,(\text{D})$$

$$= h(\nu - \nu_0) \qquad 1\,(\text{E})$$

142. আলোক-তড়িৎ কোষ কাকে বলে? ইহার কয়েকটি ব্যবহার উল্লেখ কর।

[What is photo-electric cell? Mention some of its uses.]

● **আলোক-তড়িৎ কোষ ( Photo-electric Cell ) :**

আলোক-তড়িৎ ক্রিয়া ব্যবহার ক'রে আলোক শক্তিকে তড়িৎ শক্তিতে রূপান্তরিত করার ব্যবস্থাকে **আলোক-তড়িৎ কোষ** বলে। আলোক-তড়িৎ কোষ সাধারণতঃ তিন প্রকারের যথা :

(i) আলোক-নিঃসরণ কোষ; (ii) আলোক-বিভব কোষ এবং (iii) আলোক-পরিবাহী কোষ।

নিম্নে আলোক-নিঃসরণ কোষের একটি সংক্ষিপ্ত কার্য-প্রণালী দেওয়া হল :—

**আলোক-নিঃসরণ কোষ :** এই কোষে বায়ুশূন্য কাচের একটি বাল্‌ব-এর ভিতর দুটি তড়িৎ-দ্বার থাকে। এর অ্যানোডটি (A) একটি সোজা দণ্ড এবং ক্যাথোডটি (C) বেশ খানিকটা ক্ষেত্রফল যুক্ত একটি অর্ধ-চোঙাকৃতি পাত ( fig. 203 )। দৃশ্যমান আলোর ক্ষেত্রে ক্যাথোডটি ক্ষার ধাতু বা ক্ষার ধর্মালম্বী সংকর ধাতু দিয়ে তৈরী করা

হয়। বেগ্নীপারের রশ্মি বা অতি-বেগ্নী রশ্মির ক্ষেত্রে কাচের বদলে কোয়ার্টজ-এর তৈরী বাল্ব নিতে হয়। অ্যানোড ও ক্যাথোডের মধ্যে ব্যাটারীর সাহায্যে বিভব-

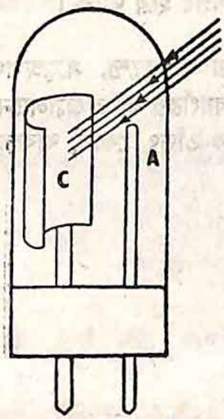



Fig. 203

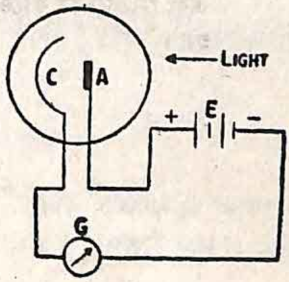



Fig. 204

বৈষম্য প্রযুক্ত করা হয় এবং একটি সুবেদী গ্যালভানোমিটারকে শ্রেণী-সমবায়ে এদের সঙ্গে যুক্ত করা হয় (fig. 204)। ক্যাথোডের উপর আলো আপতিত হলে গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপ দেখা যাবে। আপতিভ আলো ক্যাথোড থেকে ইলেকট্রনকে মুক্ত করে এবং স্থির তাড়িতিক ক্ষেত্রের প্রভাবে ইলেকট্রনগুলি অ্যানোডের দিকে যায়। ক্যাথোড ও অ্যানোডের মধ্যে বিভব-বৈষম্য বাড়তে থাকলে তড়িৎ-প্রবাহের মাত্রাও বাড়তে থাকবে। একটি নির্দিষ্ট বিভব-বৈষম্যের পর তড়িৎ-প্রবাহমাত্রা বাড়বে না—একই থেকে যাবে।

**আলোক-তড়িৎ কোষের ব্যবহার ঃ**

বিভিন্ন ক্ষেত্রে আলোক-তড়িৎ কোষের বহুল ব্যবহার দেখা যায়। যথা ঃ

(i) দীপ্তিমিতিতে সরাসরি দীপনশক্তি পরিমাপ করার জন্য বা দুটি উৎসের দীপন-প্রাবল্য তুলনা করতে এই কোষ ব্যবহৃত হয়।

(ii) সবাক চলচ্চিত্রে শব্দ-গ্রহণ এবং শব্দ-পুনরুৎপাদনে এই কোষ ব্যবহৃত হয়।

(iii) দূরদর্শনের প্রেরক-যন্ত্রে এই কোষ ব্যবহৃত হয়।

(iv) সৌরশক্তির রূপান্তর—সেলেনিয়াম আলোক-বিভব কোষ সৌরশক্তিকে তড়িৎ-শক্তিতে রূপান্তরিত করে। কৃত্রিম উপগ্রহ এবং মহাকাশযানে এই কোষ ব্যবহৃত হয়।

(v) বেলিনোগ্রাম পদ্ধতিতে দেশান্তরে দ্রুত সচিত্র সংবাদ-প্রেরণে আলোক-তড়িৎ কোষ ব্যবহৃত হয়।

(vi) নক্ষত্রের তাপমাত্রা নির্ণয় করার কাজে এই কোষ ব্যবহৃত হয়ে থাকে।

(vii) বিভিন্ন রঙের বস্তু বাছাই করার কাজে স্বয়ংক্রিয় গণনযন্ত্রে, সুড়ঙ্গপথ অতিক্রম করার সময় ট্রেন কিংবা রাস্তা প্রভৃতিতে স্বয়ংক্রিয় বাতি জ্বালানো এবং নেভানোর কাজে, অগ্নি-সংকেত যন্ত্রে আলোক-তড়িৎ কোষ ব্যবহৃত হয়।

# গাণিতিক উদাহরণমালা

## [ Mathematical Examples ]

### ● আলোক-বিজ্ঞান ●

1. কোন উত্তল আয়না দ্বারা গঠিত প্রতিবিম্বের আকার লক্ষ্যবস্তুর আকারের $1/n$ গুণ। আয়নার ফোকাস-দূরত্ব $f$ হলে, প্রমাণ কর যে, লক্ষ্যবস্তুটি আয়না থেকে $(n-1)f$ দূরে অবস্থিত।

এখানে, বিবর্ধন $m=\frac{v}{u}=\frac{1}{n}$ $\quad \therefore \quad v=\frac{u}{n}$

কিন্তু $v=-\frac{u}{n}$ (যেহেতু প্রতিবিম্ব অসদ) এবং $f=$ ঋণাত্মক (যেহেতু প্রতিবিম্ব অসদ)

আমরা জানি, $\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$ $\quad$ বা, $-\frac{1}{\frac{u}{n}}+\frac{1}{u}=-\frac{1}{f}$

বা, $-\frac{n}{u}+\frac{1}{u}=-\frac{1}{f}$. $\quad$ বা, $\frac{-n+1}{u}=-\frac{1}{f}$

বা, $f(1-n)=-u$ $\quad$ বা, $u=f(n-1)$.

2. কাচ থেকে জলে আলোকরশ্মি প্রবেশ করছে। যদি কাচ ও জলের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে 1·583 ও 1·333 হয়, তাহলে কাচ থেকে জলের সংকট কোণ নির্ণয় কর।

কাচের প্রতিসরাঙ্ক = 1·583 এবং জলের প্রতিসরাঙ্ক = 1·333.

কাচ থেকে জলের প্রতিসরাঙ্ক $=\frac{1 \cdot 333}{1 \cdot 583}$

যদি নির্ণেয় সংকট কোণ $\theta$ হয়, তবে $\frac{1}{\sin\theta}=\frac{1 \cdot 583}{1 \cdot 333}$

বা, $\sin\theta=\frac{1 \cdot 333}{1 \cdot 583}=\cdot 8421$ (প্রায়) $=\sin 57°22'$ $\quad \therefore \quad \theta=57°22'$.

3. একটি পাত্রে মিশ্রিত হয় না—এরকম দুটি স্বচ্ছ তরল পদার্থ রাখা হয়েছে।

উভয়ের উচ্চতা $d_1$ ও $d_2$ এবং এদের প্রতিসরাঙ্ক যথাক্রমে $\mu_1$ ও $\mu_2$ । পাত্রের তলদেশে একটি বিন্দু থাকলে প্রমাণ কর যে, এর আপাত গভীরতা $\frac{d_1}{\mu_1}+\frac{d_2}{\mu_2}$ ।

চিত্রে (fig. 1) পুরো ঘটনাটির একটি রৈখিক চিত্র দেওয়া হ'ল ।

C মাধ্যম থেকে B মাধ্যমে আলোকের প্রতিসরণ হিসাব করলে,

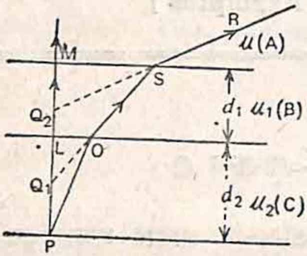



Fig. 1

$${}_B\mu_C=\frac{\text{যথার্থ দূরত্ব}}{\text{আপাত দূরত্ব}}=\frac{LP}{LQ_1}$$

আবার $${}_B\mu_C=\frac{\mu_C}{\mu_B}=\frac{\mu_2}{\mu_1}.$$

$$\frac{\mu_2}{\mu_1}=\frac{d_2}{LQ_1},$$

বা, $$LQ_1=\frac{\mu_1}{\mu_2}d_2$$

এখন B মাধ্যম থেকে A মাধ্যমে প্রতিসরণের ক্ষেত্রে ; একইভাবে,

$$\frac{\mu_1}{\mu_2}=\frac{MQ_1}{MQ_2}$$

A মাধ্যমকে বায়ু ধরলে, $\mu=1$.

$$\mu_1=\frac{MQ_1}{MQ_2} \quad \text{বা,} \quad MQ_2=\frac{1}{\mu_1}MQ_1$$

বা, $$MQ_2=\frac{1}{\mu_1}(ML+LQ)=\frac{1}{\mu_1}\left[d_1+\frac{\mu_1}{\mu_2}d_2\right]$$

বা, $$MQ_2=\frac{d_1}{\mu_1}+\frac{d_2}{\mu_2}.$$

4. একটি স্থির পুষ্করিণীর $h$ cm গভীরতায় একটি মাছ আছে। প্রমাণ কর যে, জলের মুক্ততল মাছটির চোখে বৃত্তাকার ছেদ বিশিষ্ট আয়নার মতো ব্যবহার করবে এবং এই বৃত্তাকার ছেদের ব্যাসার্ধ হবে $\frac{h}{\sqrt{\mu^2-1}}$ [ জলের প্রতিসরাঙ্ক $=\mu$ ] ।

মাছ যদি জলের ভিতর থেকে পৃথিবী-পৃষ্ঠের কোন বস্তু দেখে, তাহলে সেক্ষেত্রে ঘনতর মাধ্যম থেকে লঘুতর মাধ্যমে আলোক যাবে । যদি আপতন কোণ সংকট কোণের চেয়ে বেশী হয়, তবে পূর্ণ প্রতিফলন হবে। কিন্তু আপতন কোণ 0° থেকে সংকট কোণ পর্যন্ত হলে প্রতিফলন হবে না। অতএব, জলতল বৃত্তাকার ছেদ বিশিষ্ট একটি আয়নার মতো ব্যবহার করবে। জলের উপরিস্থ সকল বস্তুই মাছের চোখে $2\theta_c$ কোণ-বিশিষ্ট একটি শঙ্কুর মধ্যে অবস্থিত ব'লে মনে হবে এবং বাকী অংশ আয়নার মতো কাজ করবে [fig. 2] ।

এখন বৃত্তের ব্যাসার্ধ যদি $r$ হয়, তবে চিত্র (Fig. 2) অনুযায়ী $r = AB = h \tan\theta_c$.

$[\because \ AB/h = \tan\theta_c]$

কিন্তু $\sin\theta_c = \frac{1}{\mu}$,

তাহলে, $\cos\theta_c = \sqrt{1 - \frac{1}{\mu^2}}$

$= \frac{\sqrt{\mu^2 - 1}}{\mu}$

$\therefore \quad \tan\theta_c = \frac{1/\mu}{\sqrt{(\mu^2-1)/\mu^2}}$

$= \frac{1}{\sqrt{\mu^2 - 1}}$

$\therefore \quad r = \frac{h}{\sqrt{\mu^2 - 1}}$

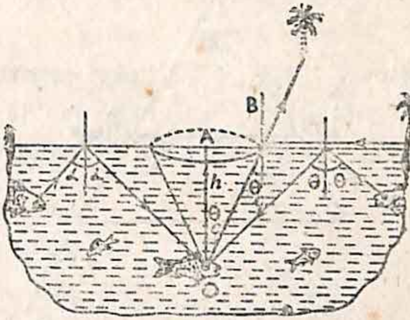



Fig. 2

5. কোন প্রিজম্-এর কোণ 60° ও নিম্নতম দিক-বিচ্যুতি কোণ 40° হলে এর $\mu$ নির্ণয় কর।

আমরা জানি, $\mu = \frac{\sin\frac{\delta_m + A}{2}}{\sin\frac{A}{2}} = \frac{\sin\frac{60^\circ + 40^\circ}{2}}{\sin\frac{60^\circ}{2}} = \frac{\sin 50^\circ}{\sin 30^\circ}$

বা, $\mu = \frac{0{\cdot}7660}{0{\cdot}5000} = 1{\cdot}53 \quad \therefore \quad \mu = 1{\cdot}53.$

( ত্রিকোণমিতির তালিকা থেকে sin 50° এবং sin 30° নির্ণয় করা হ'ল )।

6. একটি অত্যন্ত পাতলা কাচের প্রিজম্ আলোকরশ্মির 6° বিচ্যুতি ঘটায়। যদি প্রিজম্-এর প্রতিসরাঙ্ক 1·6 হয়, তাহলে প্রিজম্-এর কোণ কত ?

যদি $\theta$ অত্যন্ত ছোট হয়, তাহলে, $\sin\theta = \theta$ লেখা যেতে পারে।

এখন, $\mu = \frac{\sin\frac{A+\delta}{2}}{\sin\frac{A}{2}} = \frac{\frac{A+\delta}{2}}{\frac{A}{2}} = \frac{A+\delta}{A}$

বা, $\mu A = A + \delta^\circ$ বা, $\delta = A(\mu - 1)$

বা, $A = \frac{\delta}{\mu - 1} = \frac{6}{1{\cdot}6 - 1} = \frac{6}{0{\cdot}6} = 10.$

7. কোন প্রিজম্-এর (প্রতিসরাঙ্ক 1·6) মধ্য দিয়ে একটি আলোকরশ্মি যাবার সময় দ্বিতীয় প্রতিসারক পৃষ্ঠের গা ঘেঁষে চলে গেল। যদি প্রিজম্-এর কোণ = 60° হয়, তবে আলোকরশ্মির প্রথম পৃষ্ঠে আপতন কোণ নির্ণয় কর।

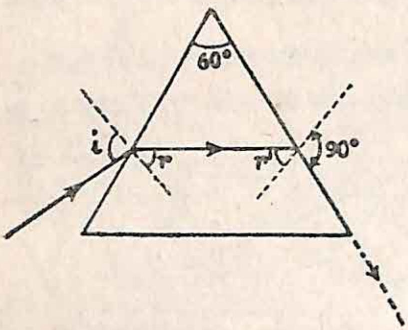


Fig. 3

ধরা যাক, প্রথম পৃষ্ঠে আপতন কোণ হ'ল $i$ (fig. 3), প্রতিসরণ কোণ $r$, দ্বিতীয় পৃষ্ঠে আপতন কোণ $r'$ ও বহির্গমন কোণ $= 90°$। এখন,

$$\frac{\sin i}{\sin r} = 1{\cdot}6 = \frac{\sin 90°}{\sin r'}$$

বা, $\sin r' = \frac{1}{1{\cdot}60} = 0{\cdot}625 = \sin 38°41'$.

$\therefore\ r = 38°41'$. আবার, $r + r' = A$ অনুযায়ী $r = 60°\ 38°41' = 21°19'$

অতএব $\sin i = 1{\cdot}6 \times \sin 21°19'$ $\qquad [\because \sin i = \mu \sin r]$

$= 1{\cdot}60 \times 0{\cdot}3636 = 0{\cdot}58656 = 0{\cdot}5866$ (প্রায়) $= \sin 35°55'$

$\therefore\ i = 35°55'$.

8. কোন প্রিজম্-এর প্রতিসরণ কোণ 60° এবং এর পদার্থের প্রতিসরাঙ্ক $\sqrt{\frac{7}{3}}$. সর্বনিম্ন কত কোণে প্রিজম্-এর একটি প্রতিসারক তলে আলোক-রশ্মি আপতিত হলে, সেটি প্রিজম্-এর অপর প্রতিসারক পৃষ্ঠের গা ঘেঁষে চলে যাবে?

সংকট কোণ $\theta_c$ হলে, $\theta_c = \sin^{-1}\frac{1}{\mu} = \sin^{-1}\sqrt{\frac{3}{7}}$

এখন $A = r + r'$ এবং বহির্গমন রশ্মি যদি ঠিক দ্বিতীয় প্রতিসারক পৃষ্ঠের গা ঘেঁষে বেরিয়ে যায়, তাহলে $r' = \theta$

$\therefore\ 60° = r + \theta$ বা, $r = 60° - \theta = 60° - \sin^{-1}\sqrt{\frac{3}{7}}$, তাহলে $\sin i = \mu \sin r$ থেকে পাই,

$$\sin i = \sqrt{\tfrac{7}{3}} \sin\left(60° - \sin^{-1}\sqrt{\tfrac{3}{7}}\right)$$

$$= \sqrt{\tfrac{7}{3}}\left[\sin 60°.\ \cos\left(\sin^{-1}\sqrt{\tfrac{3}{7}}\right) - \cos 60°.\ \sin\left(\sin^{-1}\sqrt{\tfrac{3}{7}}\right)\right]$$

$$= \sqrt{\frac{7}{3}}\left[\frac{\sqrt{3}}{2}\sqrt{\frac{4}{7}} - \frac{1}{2}\sqrt{\frac{3}{7}}\right]$$

$[\because \cos(\sin^{-1}x) = \cos(\cos^{-1}\sqrt{1-x^2})]$

$= \sqrt{\tfrac{7}{3}}.\left[\sqrt{\tfrac{3}{7}} - \tfrac{1}{2}.\sqrt{\tfrac{3}{7}}\right] = \sqrt{\tfrac{7}{3}}.\sqrt{\tfrac{3}{7}}.\tfrac{1}{2} = \tfrac{1}{2} = \sin 30°$

$\therefore\ i = 30°$.

9. কোন সমবাহু কাচ নির্মিত প্রিজম্-এ আলোকরশ্মি একটি প্রতিসারক পৃষ্ঠের উপর লম্বভাবে আপতিত হ'ল। কাচের সংকট কোণ 42° হলে, রশ্মির পথ অংকন কর।

পাশের চিত্রে (fig. 4) ABC হ'ল সমবাহু ত্রিভুজের প্রধান ছেদ। ত্রিভুজটি সমবাহু ব'লে ত্রিভুজের প্রত্যেকটি কোণ 60°-এর সমান। PL আলোকরশ্মি AB প্রতিসারক পৃষ্ঠের উপর লম্বভাবে পড়লো। আপতন কোণ 0 ব'লে প্রতিসরণ কোণও 0° হবে এবং আলোকরশ্মি সোজা পথেই যাবে। ধরি, এই রশ্মি AC প্রতিসারক পৃষ্ঠে R বিন্দুতে আপতিত হ'ল। এখন ALR ত্রিভুজে $\angle ALR = 90°$, $\angle LAR = 60°$. ত্রিভুজের তিন কোণের সমষ্টি 180° ব'লে, $\angle ARL = 30°$.

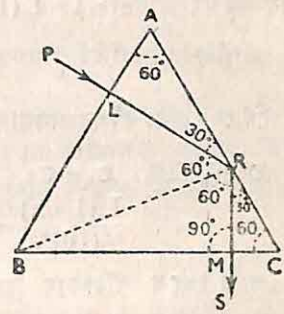


Fig. 4

এইবার R বিন্দুতে AC তলের উপর লম্ব আঁকলে, এই লম্বের সঙ্গে BR রশ্মি 60° কোণ করবে। অর্থাৎ, AC প্রতিসারক পৃষ্ঠে আলোকরশ্মি 60° কোণে আপতিত হ'ল। এই আপতন কাচ থেকে বায়ু মাধ্যমে হ'ল। এখন, কাচের সংকট কোণ 42°। আলোকরশ্মি এর চেয়ে বেশী কোণে আপতিত হচ্ছে ব'লে এর পূর্ণ প্রতিফলন হবে। অর্থাৎ, রশ্মিটি প্রতিসৃত না হয়ে RS পথে এমনভাবে প্রতিফলিত হবে, যাতে RS রশ্মি R বিন্দুতে অংকিত অভিলম্বের সঙ্গে 60° কোণ করে। কারণ, প্রতিফলনের সূত্রানুযায়ী, আপতন কোণ = প্রতিফলন কোণ। এরকম হলে, $\angle MRC = 30°$ হতে হবে। আবার $\angle RCM = 60°$ ব'লে, RM রশ্মিকে BC তলের উপর লম্ব হতে হবে। অর্থাৎ, প্রতিফলনের পর আলোকরশ্মি সোজা পথেই চলে যাবে।

10. 30 মিটার ব্যাসের একটি গোলাকৃতি ঘরের ভিতরের ছাদের মধ্যস্থলে একটি বাতি জ্বালানো হয়েছে। যদি দেওয়ালের ন্যূনতম দীপন মেঝের চেয়ে দ্বিগুণ হয়, তবে ঘরের উচ্চতা নির্ণয় কর।

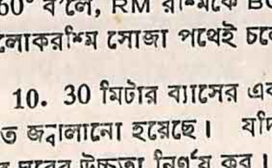


Fig. 5

দেওয়ালের ন্যূনতম দীপন $E_1 = \frac{I \cos \alpha}{r_2}$

মেঝের ন্যূনতম দীপন $E_2 = \frac{I \cos \beta}{r^2}$

সর্তানুসারে, $\frac{E_1}{E_2} = \frac{\cos \alpha}{\cos \beta} = \frac{D}{2h} = 2$

অতএব, $h = \frac{D}{4} = 7{\cdot}5$ metre.

11. অপরিষ্কার চিমনিযুক্ত একটি বাতি পর্দা থেকে 10 cm দূরে বসালে একটি মোমের অনুরূপ দীপন উৎপন্ন করে। চিমনিটি পরিষ্কার করলে দেখা যায় যে,

বাতিটিকে আরও 2 cm দূরে সরালে এবং মোমের অবস্থান না বদলালে দীপন একই থাকে। অপরিষ্কার চিমনি শতকরা কত আলো শোষণ করে, তা নির্ণয় কর।

মনে করি, বাতি ও মোমের আলোর দীপনমাত্রা যথাক্রমে $I_1$, $I_2$ এবং পর্দা থেকে মোমের দূরত্ব $d$.

অপরিষ্কার চিমনি যদি আলোর $x$-অংশ শোষণ করে, তবে চিমনিযুক্ত বাতির কার্যকর দীপনমাত্রা $= I = I_1(1-x)$

অপরিষ্কার বাতির জন্য পর্দায় দীপনপ্রাবল্য $= E_1 = \frac{I_1(1-x)}{10^2}$ (1)

মোমের জন্য দীপনপ্রাবল্য $E_2 = \frac{I_1}{d^2}$ (2)

প্রশ্নানুসারে, $E_1 = E_2$

$$\therefore \quad \frac{I_1(1-x)}{(10)^2} = \frac{I_2}{d^2} \tag{3}$$

পর্দা থেকে পরিষ্কার চিমনিযুক্ত বাতির দূরত্ব $= 10 + 2 = 12$ cm ; পরিষ্কার চমিযুক্ত বাতির দীপনপ্রাবল্য $= \frac{I_1}{12^2}$ (4)

এখন সমীকরণ (2) ও (4) সমান ব'লে

$$\frac{I_2}{d^2} = \frac{I_1}{12^2} \tag{5}$$

(3) ও (5) সমীকরণ থেকে পাই,

$$\frac{I_1(1-x)}{10^2} = \frac{I_1}{12^2} \quad \text{বা,} \quad (1-x) = \frac{100}{144}$$

$$\therefore \quad x = 1 - \frac{100}{144} = \frac{44}{144}$$

$\therefore$ শতকরা শোষণ $= \frac{44}{144} \times 100 = 30{\cdot}6\%$.

12. উত্তল আয়না থেকে 25 cm দূরে একটি বস্তু রাখা হয়েছে এবং একটি সমতল আয়না এমনভাবে বসানো হয়েছে, যাতে আয়নাগুলিতে গঠিত প্রতিবিম্ব পরস্পরের পাশাপাশি অবস্থান করে। এবার বস্তু থেকে আয়নাটিকে 20 cm দূরত্বে সরালে উত্তল আয়নার বক্রতা ব্যাসার্ধ কত ?

সমতল আয়নায় উৎপন্ন প্রতিবিম্ব, আয়নার সামনে যতদূরে বস্তু থাকে, আয়নার পিছনে তত দূরে অবস্থান করে।

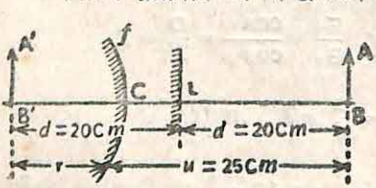



Fig. 6

$$\therefore \quad v = (2d - u) = (40 - 25)$$

$$\therefore \quad v = 15 \text{ cm ( অসদ )}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{v} + \frac{1}{u} = \frac{1}{-15} + \frac{1}{25}$$

$$f = -\frac{75}{2} \text{ cm} \quad \text{বা,} \quad R = 2f = -75 \text{ cm.}$$

13. পরস্পরের মুখোমুখি অবস্থায় একটি উত্তল এবং একটি অবতল আয়না 15 cm দূরত্বে বসানো আছে, এদের ব্যাসার্ধ 10 cm। এদের মধ্যস্থলে একটি বস্তু রাখলে প্রথমে অবতল এবং পরে উত্তল আয়নায় এর প্রতিবিম্বের অবস্থান, প্রকৃতি এবং আকার নির্ণয় কর।

উত্তল আয়নার ক্ষেত্রে : $u = 7{\cdot}5$ cm, $f = 5$ cm.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{v} + \frac{1}{u} \text{ ব্যবহার ক'রে}$$

$$\text{বা,}\quad \frac{1}{5} = \frac{1}{v} + \frac{1}{7{\cdot}5} \quad \therefore \quad v = 15 \text{ cm.}$$

এখানে উত্তল আয়নার মেরুতে প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। এই প্রতিবিম্ব উত্তল বস্তুরূপে আচরণ করে। এক্ষেত্রে উত্তল আয়না অবতল আয়নার মেরুতে অসদ উল্টানো প্রতিবিম্ব গঠন করে। উৎপন্ন প্রতিবিম্বের আকার অবতল আয়নায় গঠিত প্রতিবিম্বের আকারের সমান।

$$\text{এখন, } m = \frac{v}{u} = \frac{15}{7{\cdot}5} = 2$$

∴ প্রতিবিম্ব বস্তুর দ্বিগুণ আকারের হবে।

14. একটি উত্তল আয়নার ফোকাস-দৈর্ঘ্য 15 cm এবং একটি অবতল আয়নার ফোকাস-দৈর্ঘ্য 10 cm ; এই আয়না-দুটিকে পরস্পরের মুখোমুখি অবস্থায় 40 cm দূরত্বে বসানো হ'ল। এদের সাধারণ অক্ষের মধ্যবর্তী কোন বিন্দুতে একটি বিন্দু-উৎস বসানো হ'ল। অবতল আয়না থেকে এই উৎসের দূরত্ব 15 cm। প্রথমে উত্তল এবং পরে অবতল আয়নায় দুটি পর্যায়ক্রমিক প্রতিফলনে গঠিত প্রতিবিম্বের অবস্থান এবং প্রকৃতি নির্ণয় কর।

অবতল আয়নার ক্ষেত্রে, $\dfrac{1}{f_1} = \dfrac{1}{v_1} + \dfrac{1}{u_1}$

$$\therefore \quad \frac{1}{10} = \frac{1}{v_1} + \frac{1}{15}$$

বা, $v_1 = 30$ cm.

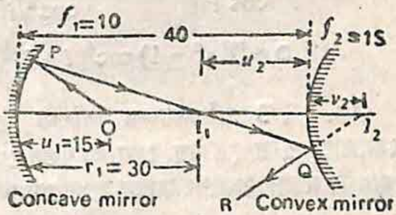


Fig. 7

কাচপাতের দিকে লম্বভাবে লক্ষ্য করলে এর আপাত বেধ মনে হয় $x$ ( বায়ুতে )। $B'$ বিন্দুতে রৌপ্যমণ্ডিত তলে আয়নার ফলে প্রতিবিম্ব গঠিত হয় ব'লে রৌপ্যমণ্ডিত তল থেকে বস্তুর দূরত্ব $= (8 + x)$.

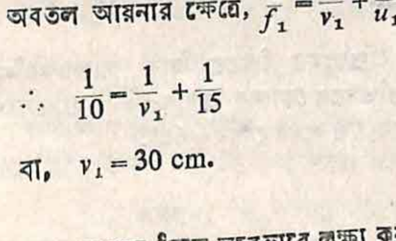


Fig. 8

সমতল আয়নার ক্ষেত্রে প্রতিবিম্ব-দূরত্ব = বস্তু-দূরত্ব।

$$\therefore \quad 8 + x = 12. \qquad \therefore \quad x = 4 \text{ cm.}$$

অতএব, $\mu = \frac{\text{প্রকৃত বেধ}}{\text{আপাত বেধ}} = \frac{6}{4} = 1{\cdot}5.$

15. পাতলা প্রিজমের ক্ষেত্রে আপতন কোণ বড় হলে দেখাও যে, বিচ্যুতি $D = [\{(\mu^2 - 1)\sec^2 i + 1\}^{\frac{1}{2}} - 1]A$

আমরা জানি, $D = i + i_1 - A$ এবং $A = r + r_1$.

এখানে $D$ = বিচ্যুতি, $i$ = আপতন কোণ, $i_1$ = নির্গমন কোণ, $r$ = দ্বিতীয় তলে আপতন কোণ।

দ্বিতীয় তলে প্রতিসরণের ক্ষেত্রে,

$$\sin i_1 = \mu \sin r_1$$

$$\sin(D + A - i) = \mu \sin(A - r)$$

বা, $\sin(D + A)\cos i - \cos(D + A)\sin i$
$$= \mu(\sin A \cos r + \cos A \sin r)$$

যেহেতু, A, D খুব ছোট

সেহেতু, $(D + A)\cos i - \sin i = \mu A \cos r - \mu \sin r$

$$D = \left(\frac{\mu \cos r}{\cos i} - 1\right)A \qquad [\because \sin i = \mu \sin r]$$

এখন, $\frac{\mu^2 \cos^2 r}{\cos^2 i} = \frac{\mu^2(1 - \sin^2 r)}{\cos^2 i} = \frac{\mu^2 - \sin^2 i}{\cos^2 i}$

বা, $\left(\frac{\mu \cos r}{\cos i}\right)^2 = \frac{(\mu^2 - 1) + \cos^2 i}{\cos^2 i} = (\mu^2 - 1)\sec^2 i + 1$

$\therefore \quad D = [\{(\mu^2 - 1)\sec^2 i + 1\}^{\frac{1}{2}} - 1]A.$

16. $\sqrt{3}$ প্রতিসরাঙ্ক বিশিষ্ট একটি প্রিজমের ভিতর দিয়ে আলোকরশ্মি এমনভাবে প্রতিসৃত হয়, যেন আপতন কোণ প্রতিসরণ কোণের দ্বিগুণ হয়। প্রতিসরণ কোণ প্রিজমের কোণের সমান হলে প্রমাণ কর যে, প্রিজমের কোণ = 60°.

আমরা জানি যে, $r = A - r_1$

$\therefore \quad \sin r = \sin(A - r_1)$

বা, $\sin r = \sin A \cos r_1 - \cos A \sin r_1$ (1)

কিন্তু, $\sin r = \frac{\sin i}{\mu} = \frac{\sin 2A}{\sqrt{3}}$ (2)

$\therefore \sin r_1 = \frac{\sin i_1}{\mu} = \frac{\sin A}{\sqrt{3}}$

$\therefore \quad \cos r_1 = \sqrt{1 - \sin^2 r_1} = \frac{\sqrt{3 - \sin^2 A}}{\sqrt{3}}$

(2) এবং (1) থেকে পাই,

$$\frac{\sin 2A}{\sqrt{3}} = \frac{\sin A\ \sqrt{3-\sin^2 A}}{\sqrt{3}} - \frac{\cos A \sin A}{\sqrt{3}}$$

বা, $2\cos A = \sqrt{3-\sin^2 A} - \cos A$

বা, $(3\cos A)^2 = 2+\cos^2 A$ বা, $8\cos^2 A = 2$

বা, $\cos A = \frac{1}{2} = \cos 60°$

$\therefore\ A = 60°.$

17. কিছু পরিমাণ জল দিয়ে দুটি সমোত্তল লেন্স পৃথক্ ক'রে রাখা আছে। লেন্স-দুটির প্রত্যেকটির ফোকাস-দৈর্ঘ্য 20 cm ; দুটি লেন্সের মধ্যবর্তী জল 4/3 প্রতিসরাঙ্কের একটি সমাবতল লেন্স বিশেষ। কাচ এবং জল লেন্স সমন্বয়ের ফোকাস-দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর ( কাচের প্রতিসরাঙ্ক 3/2)।

উভোত্তল লেন্সের ফোকাস-দৈর্ঘ্য 20 cm, $r_1 = r_2 = r$

অর্থাৎ, $\frac{1}{f} = (\mu-1)\frac{2}{r}$

$\therefore\ \frac{1}{20} = (1{\cdot}5-1)\frac{2}{r}\quad \therefore\ r = -20$ cm.

সমাবতল জল লেন্সের বক্রতা ব্যাসার্ধ $r_1 = r_2 = -20$ cm.

অতএব, $\frac{1}{f_1} = (\mu-1)\left(-\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)$

$$= \left(\frac{4}{3}-1\right)\left(-\frac{1}{20}-\frac{1}{20}\right) = -\frac{1}{30}.$$

যদি দুটি কাচ লেন্স ও একটি জল লেন্সের সমন্বয়ের ফোকাস-দৈর্ঘ্য F হয়, তবে,

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{20} - \frac{1}{30} + \frac{1}{20} = \frac{1}{10} - \frac{1}{30} = \frac{1}{15}$$

অবতল আয়নায় গঠিত প্রতিবিম্ব 1 উত্তল লেন্সের জন্য বাস্তব বস্তুর মতো কাজ করে ; কারণ, 1 প্রতিবিম্ব উত্তল আয়নার সামনে অবস্থিত।

এখানে, $u_2 = (40-30) = 10$ cm

আয়নার ক্ষেত্র, $\frac{1}{f_2} = \frac{1}{v_2} + \frac{1}{u_2}$

$$\frac{1}{-15} = \frac{1}{v_2} + \frac{1}{10}\quad \therefore\ v_2 = -6 \text{ cm}.$$

$\therefore$ চূড়ান্ত প্রতিবিম্বটি অসদ্ এবং উত্তল আয়নার 6 cm পিছনে অবস্থিত।

18. 6 cm পুরু একটি আয়তাকার কাচপাতের একটি তল রৌপ্যমণ্ডিত করা হয়েছে। সম্মুখতলের সামনের দিকে 8 cm দূরে একটি বস্তু রাখলে রৌপ্যমণ্ডিত

তলের পিছনে 12 cm দূরে একটি প্রতিবিম্ব গঠিত হয়। কাচের প্রতিসরাঙ্ক নির্ণয় কর।

F ধনাত্মক হওয়ায় সমন্বয়টি একটি উত্তল লেন্সের মতো ব্যবহার করে এবং এই সমতল লেন্সের ফোকাস-দৈর্ঘ্য হ'ল 15 cm.

19. 15 cm ফোকাস-দৈর্ঘ্যের একটি উত্তল লেন্সকে একটি উত্তল আয়নার সামনে রাখা হ'ল। উভয়েরই অক্ষ এক এবং লেন্সটি আয়নার শীর্ষ থেকে 5 cm দূরে। লেন্স থেকে অক্ষের উপর 20 cm দূরে একটি বস্তু রাখলে দেখা যায় যে, প্রতিবিম্ব বস্তুর উপর সমাপতিত হয়। আয়নার বক্রতা ব্যাসার্ধ নির্ণয় কর।

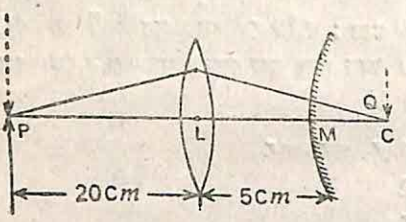



Fig. 9

লেন্সের সমীকরণ থেকে আমরা লিখতে পারি—

$$\frac{1}{v}+\frac{1}{u}=\frac{1}{f}$$

বা, $$\frac{1}{v}=\frac{1}{15}-\frac{1}{20}=\frac{1}{60}$$

$\therefore \quad v=60$ cm.

যখন উত্তল আয়না প্রতিবিম্ব এবং লেন্সের মধ্যে এমনভাবে বসানো হয়, যাতে আয়নার বক্রতা কেন্দ্র লেন্স কর্তৃক উৎপন্ন প্রতিবিম্বের উপর সমাপতিত হয়, তখন আলোকরশ্মি আয়নার উপর লম্বভাবে আপতিত হয়। আয়না থেকে প্রতিফলিত হয়ে রশ্মি একই পথে প্রত্যাবর্তন করে এবং বস্তুর উপরে উল্টো প্রতিবিম্ব গঠন করে।

$$\therefore \quad CL=v=60 \text{ cm}$$

চিত্র (Fig. 9) থেকে দেখা যায় যে, আয়নার বক্রতা ব্যাসার্ধ,

$$R=CM=CL-CM=60-5=55 \text{ cm.}$$

20. একটি সমোত্তল লেন্সের সমতল পৃষ্ঠটি রৌপ্যমণ্ডিত। এই লেন্সের বক্র-পৃষ্ঠের সামনে এক মিটার দৈর্ঘ্যের একটি বস্তু রাখা হয়েছে। লেন্সের সামনে 120 cm দূরে একটি সদ্ প্রতিবিম্ব উৎপন্ন হলে লেন্সের ফোকাস-দৈর্ঘ্য কত?

যে সমোত্তল লেন্সের সমতল পৃষ্ঠটি রৌপ্যমণ্ডিত, সেই লেন্স থেকে 100 cm দূরে বস্তুটি রাখা হয়েছে। রৌপ্যমণ্ডিত পৃষ্ঠের জন্য অভিন্ন ফোকাস-দৈর্ঘ্যের ($f$) সমোত্তল লেন্সের একটি প্রতিফলিত প্রতিবিম্ব আয়নায় গঠিত হয়। এটি তখন $F$ ফোকাস-দৈর্ঘ্যের একটি উভোত্তল লেন্সের মতো ক্রিয়া করে।

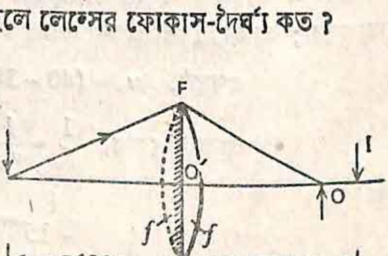



Fig. 10

এখানে, $$\frac{1}{F}=\frac{1}{f}+\frac{1}{f}=\frac{2}{f}.$$

আবার, প্রতিবিম্ব I লেন্স থেকে একই দূরত্ব (120 cm) $I^1$ অবস্থানে আছে ব'লে মনে হবে।

সুতরাং, উভোত্তল লেন্সের ক্ষেত্রে, $u=100$ cm ; $v=120$ cm (সদ্ প্রতিবিম্ব)।

$$\text{এখন} \quad \frac{1}{F}=\frac{2}{f}=\frac{1}{v}+\frac{1}{u}$$

$$\frac{2}{f}=\frac{1}{120}+\frac{1}{100}$$

$$\text{বা,} \quad f=\frac{2\times 1200}{22}=109{\cdot}1 \text{ cm.}$$

21. প্রমাণ কর যে, উত্তল লেনস্-এ সদ্ প্রতিবিম্ব পেতে হলে, বস্তু ও বিম্বের মধ্যে সবচেয়ে কম দূরত্ব $4f$ হতে হবে।

উত্তল লেনস্-এ সদ্ প্রতিবিম্ব তৈরি হলে,

$$\frac{1}{u}+\frac{1}{v}=\frac{1}{f} \text{ হয়। বা,} \quad \frac{u+v}{uv}=\frac{1}{f}$$

বা, $uv=(u+v)f$ (1)

বা, $u^2v^2=(u^2+2uv+v^2)f^2$

উভয় পক্ষ থেকে $4uvf^2$ বাদ দিলে,

$u^2v^2-4uvf^2=(u^2+2uv+v^2)f^2-4uvf^2$

বা, $uv\,[uv-4f^2]=(u+v)^2f^2$.

এই সমীকরণের দক্ষিণ পক্ষকে ধনাত্মক অথবা শূন্য হতে হবে।

অর্থাৎ, $uv-4f^2$ ধনাত্মক অথবা শূন্য হবে।

(1) থেকে $uv$-এর মান বসালে,

$(u+v)f-4f^2$ ধনাত্মক অথবা শূন্য,

বা, $(u+v-4f)$ ধনাত্মক অথবা শূন্য।

তাহলে, $(u+v-4f)$-এর সবচেয়ে কম মান হচ্ছে শূন্য।

$\therefore \quad u+v-4f=0$ বা, $u+v=4f$.

অতএব, উত্তল লেনস্-এ সদ্ প্রতিবিম্ব পেতে হলে, বস্তু ও বিম্বের মধ্যে সবচেয়ে কম দূরত্ব $4f$ হতে হবে।

22. কোন পর্দা ও একটি মোমবাতির মধ্যে দূরত্ব D এবং এদের মধ্যে একটি জায়গায় উত্তল লেনস্ রাখলে পর্দায় একটি তীক্ষ্ণ প্রতিবিম্ব পড়ে। লেনস্‌টিকে $x$ দূরত্ব সরালে পর্দায় আরও একটি প্রতিবিম্ব পড়ে। প্রমাণ কর যে, লেনস্‌টির

ফোকাস-দূরত্ব $= \frac{D^2 - x^2}{4D}$। আরও প্রমাণ কর যে, দুই প্রতিবিম্বের উচ্চতার গুণফল, বস্তুর উচ্চতার বর্গের সমান।

ধরা যাক, বস্তু এবং পর্দার মধ্যে দূরত্ব হ'ল D (fig. 11)। প্রথম ক্ষেত্রে মনে করা হ'ল, লেনস্ থেকে বস্তু-দূরত্ব $u$ ; তাহলে প্রতিবিম্ব-দূরত্ব $v = (D - u)$। প্রতিবিম্ব লেনস্-এর বিপরীত দিকে ব'লে,

$$\frac{1}{u} + \frac{1}{v} = \frac{1}{f} \quad \text{প্রয়োগ ক'রে,} \quad \frac{1}{D-u} + \frac{1}{u} = \frac{1}{f}$$

$$\text{বা,} \quad \frac{D}{u(D-u)} = \frac{1}{f} \quad \text{বা,} \quad u^2 - uD + Df = 0$$

$$\text{বা,} \quad u = \frac{D \pm \sqrt{D^2 - 4Df}}{2}$$

যদি $D > 4f$ হয়, তাহলে $u'$, অর্থাৎ, বস্তু-দূরত্বের দুটি বাস্তব (real) মান হতে পারে। ধরা যাক, $u$-এর মান দুটি—$u_1$ এবং $u_2$ ; তাহলে,

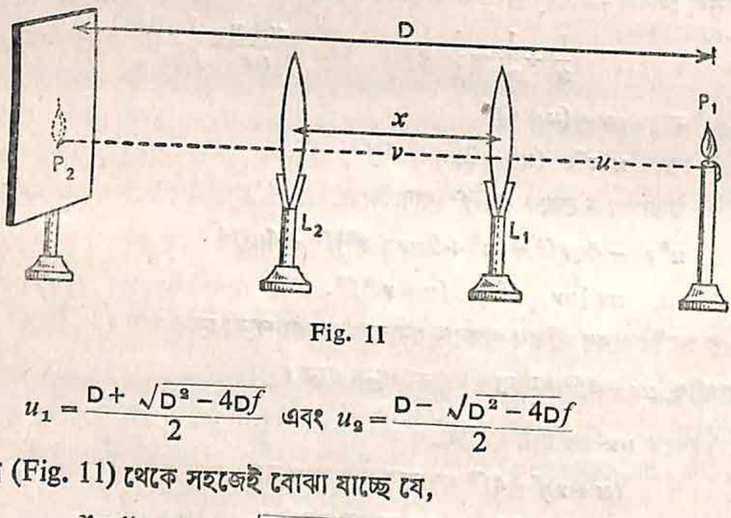



Fig. 11

$$u_1 = \frac{D + \sqrt{D^2 - 4Df}}{2} \quad \text{এবং} \quad u_2 = \frac{D - \sqrt{D^2 - 4Df}}{2}$$

চিত্র (Fig. 11) থেকে সহজেই বোঝা যাচ্ছে যে,

$$x = u_1 - u_2 = \sqrt{D^2 - 4Df}$$

$$\text{বা,} \quad x^2 = D^2 - 4Df \quad \text{বা,} \quad 4Df = D^2 - x^2$$

$$\text{বা,} \quad f = \frac{D^2 - x^2}{4D}.$$

দ্বিতীয় অংশে, ধরলাম, বস্তুর উচ্চতা A এবং প্রথম ও দ্বিতীয় ক্ষেত্রে প্রতিবিম্বের উচ্চতা $I_1$ এবং $I_2$ ; প্রথম ক্ষেত্রে বস্তু-দূরত্ব $= u_1$ এবং প্রতিবিম্ব-দূরত্ব $= D - u_1$.

$$\therefore \quad \frac{I_1}{A} = \frac{D - u_1}{u_1}.$$

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে, বস্তু-দূরত্ব $= u_2$ এবং প্রতিবিম্ব দূরত্ব $= D - u_2$.

$$\therefore \quad \frac{I_2}{A} = \frac{D - u_2}{u_2}.$$

তাহলে, $\dfrac{I_1}{A} \times \dfrac{I_2}{A} = \dfrac{D - u_1}{u_1} \times \dfrac{D - u_2}{u_2}$

বা, $\dfrac{I_1 I_2}{A^2} = \dfrac{D^2 - (u_1 + u_2)D + u_1 u_2}{u_1 u_2}$

বা, $\dfrac{I_1 I_2}{A^2} = \dfrac{u_1 u_2}{u_1 u_2} = 1.$ $\quad [\because D = u_1 + u_2]$

বা, $A^2 = I_1.I_2$ বা, $A = \sqrt{I_1.I_2}$.

23. উত্তল লেনস্ স্থির রেখে বস্তু এবং পর্দাকে সরিয়ে দু'বার যে বিবর্ধন পাওয়া যায়, $f$-এর মান এদের সাহায্যে প্রকাশ কর।

লেনস্ স্থির রেখে বস্তু এবং পর্দাকে সরিয়ে যে দুই বিবর্ধন পাওয়া যায়, তাদের সাহায্যে লেনস্-এর ফোকাস-দূরত্ব বার করতে হবে। এরকম দুটি ক্ষেত্র হতে পারে। প্রথম ক্ষেত্রে, পর্দা কতটা সরানো হ'ল, তা জানা থাকতে পারে। দ্বিতীয় ক্ষেত্রে বস্তু কতটা সরানো হ'ল, তা বলা থাকতে পারে। আমরা একে একে দুই ক্ষেত্রেই আলোচনা ক'রবো।

1. পর্দা $d$-দূরত্ব সরানো হয়েছে ঃ

ধরা যাক, উত্তল লেনস্-এ বস্তু-দূরত্ব $= u_1$ এবং প্রতিবিম্ব-দূরত্ব $= v_1$ ; এটা পর্দার উপরে পড়ছে ব'লে এর প্রকৃতি সদ্।

$$\therefore \quad \frac{1}{u_1} + \frac{1}{v_1} = \frac{1}{f} \quad \text{বা,} \quad 1 + \frac{v_1}{u_1} = \frac{v_1}{f} \quad \text{বা,} \quad 1 + m_1 = \frac{v_1}{f} \qquad (1)$$

$m_1$ এই ক্ষেত্রে বস্তুর বিবর্ধন বোঝাচ্ছে।

ধরা যাক, এবার পর্দাকে লেনস্ অভিমুখে $d$ পর্যন্ত সরানো হ'ল। এ অবস্থায় যদি লেনস্-এর উপর প্রতিবিম্ব পাওয়া যায়, তাহলে প্রতিবিম্ব-দূরত্ব $= v_1 - d$ হবে। এর জন্য বস্তুকে লেনস্ থেকে দূরে সরাতে হবে। মনে করি, যখন বস্তু-দূরত্ব $u_2$, তখন পর্দার উপর ( দ্বিতীয় অবস্থানে ) এই প্রতিবিম্বটি পড়লো।

$$\therefore \quad \frac{1}{v_1 - d} + \frac{1}{u_2} = \frac{1}{f} \quad \text{বা,} \quad 1 + \frac{v_1 - d}{u_2} = \frac{v_1 - d}{f}$$

$$\text{বা,} \quad 1 + m_2 = \frac{v_1 - d}{f} \qquad (2)$$

$m_2$ দ্বিতীয় বস্তুর বিবর্ধন বোঝাচ্ছে।

(1) থেকে (2) বাদ দিলে,

$$m_1 - m_2 = \frac{v_1}{f} - \frac{v_1 - d}{f} \quad \text{বা,} \quad m_1 - m_2 = \frac{d}{f} \quad \text{বা,} \ f = \frac{d}{m_1 - m_2}$$

2. বস্তু $d$-দূরত্ব সরানো হয়েছে ঃ

ধরা যাক, উত্তল লেনস্-এ বস্তু-দূরত্ব $= u_1$ এবং প্রতিবিম্ব-দূরত্ব $= v_1$ ; এটা পর্দার উপর পড়ছে ব'লে প্রকৃতিতে সদ্।

$$\therefore \quad \frac{1}{u_1}+\frac{1}{v_1}=\frac{1}{f} \quad \text{বা,} \quad \frac{u_1}{v_1}+1=\frac{u_1}{f}$$

$$\text{বা,} \quad \frac{1}{m_1}+1=\frac{u_1}{f} \qquad \left[\because \frac{\text{বস্তু দূরত্ব}}{\text{প্রতিবিম্ব দূরত্ব}}=\frac{1}{m}\right]$$

এইবার বস্তুকে লেনস্ অভিমুখে $d$-দূরত্বে সরানো হ'ল। ঐ অবস্থায় একটি পরিষ্কার প্রতিবিম্ব পেতে হলে, পর্দাকে লেনস্ থেকে দূরে সরাতে হবে। ধরা হ'ল, পর্দা যখন $v_2$ দূরে অবস্থিত, তখন প্রতিবিম্ব পাওয়া যাবে।

অতএব, এক্ষেত্রে বস্তু-দূরত্ব $= u_1 - d$ এবং প্রতিবিম্ব-দূরত্ব $= v_2$.

$$\therefore \quad \frac{1}{v_2}+\frac{1}{u_1-d}=\frac{1}{f} \quad \text{বা,} \quad \frac{u_1-d}{f}+1=\frac{u_1-d}{f}.$$

ঋণাত্মক চিহ্নে প্রতিবিম্ব যে সদ্, তা বোঝা যাচ্ছে। অর্থাৎ, লেনস্-এর যে পাশে বস্তু, তার অপর পাশে প্রতিবিম্ব পড়বে। এক্ষেত্রে, প্রতিবিম্ব $(200-133{\cdot}33)$ $=66{\cdot}67$ cm দূরত্ব লেনস্ অভিমুখে এগিয়ে আসবে।

24. একটি উত্তল লেনস্-এর সামনে একটি স্থানে কোন বস্তু রাখলে, এর সদ্ ও সমান মাপের প্রতিবিম্ব পাওয়া যায়। বস্তুটিকে এর পরে লেনস্ অভিমুখে 16 ইঞ্চি সরালে তিনগুণ বর্ধিত সদ্ প্রতিবিম্ব পাওয়া যায়। লেনস্টির ফোকাস-দূরত্ব নির্ণয় কর।

যেহেতু, প্রতিবিম্বের মাপ এবং বস্তুর মাপ সমান ও প্রতিবিম্ব সদ্, সেহেতু

$$\frac{v}{u}=-1 \qquad \text{বা,} \quad v=-u.$$

$$\text{এখন,} \ \frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f} \ \text{থেকে,}$$

$$-\frac{1}{u}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f} \quad \text{বা,} \quad u=-2f.$$

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে, বস্তু-দূরত্ব $= u-16 = -2f-16.$

প্রতিবিম্ব-দূরত্ব $= 3(u-16)$ $\left[\because m=\frac{v}{u}\right]$

$$=3(-2f-16).$$

$$\text{আবার} \quad \frac{1}{v}-\frac{1}{u}=\frac{1}{f} \ \text{ব'লে,}$$

$$\frac{1}{-3(-2f-16)}-\frac{1}{(-2f-16)}=\frac{1}{f}$$ [ প্রতিবিম্ব সদ্ ব'লে $v$ ঋণাত্মক ]

বা, $\frac{4}{3(2f+16)} = +\frac{1}{f}$

বা, $4f = 6f + 48$ বা, $f = -24$ in.

## ● চুম্বক-বিজ্ঞান ●

1. পৃথিবীর চুম্বক ক্ষেত্রের প্রভাবে একটি ক্ষুদ্র ঝুলন্ত চুম্বক একাকী প্রতি মিনিটে 10টি দোলন সম্পন্ন করে। একটি দণ্ড-চুম্বককে উহার নিকট এমনভাবে আনা হইল, যাহাতে ঝুলন্ত চুম্বকটির অভিমুখ পরিবর্তিত হয় এবং প্রতি মিনিটে দোলন সংখ্যা বৃদ্ধি পাইয়া 14টি হয়। দণ্ড-চুম্বকটিকে উল্টাইয়া বসানো হইলে ঝুলন্ত চুম্বকের কম্পাঙ্ক কত হইবে? [ J. E. E. 1978 ]

পৃথিবীর চুম্বকক্ষেত্রের প্রভাবে একটি ঝুলন্ত চুম্বকের দোলনকালের রাশিমালা নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়,

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{MH}},$$

যেখানে $I \rightarrow$ চুম্বকের জাড্য-ভ্রামক, $M \rightarrow$ চুম্বক-ভ্রামক $H \rightarrow$ ভূ-চুম্বকের প্রাবল্যের আনুভূমিক উপাংশ।

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে,

$$T_1 = \frac{60}{10} = 2\pi\sqrt{\frac{I}{MH}}$$

বা, $\frac{60}{10} = 2\pi\sqrt{I/MH}.$

বা, $\frac{60 \times 60}{10 \times 10} = 4\pi^2\ I/MH$ (1)

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে,

$$T_2 = \frac{60}{14} = 2\pi\sqrt{\frac{I}{M(H+F)}},$$ যেখানে $F \rightarrow$ অতিরিক্ত চুম্বকক্ষেত্র।

বা, $\frac{60 \times 60}{14 \times 14} = 4\pi^2\ \frac{I}{M(H+F)}$ (2)

(1) নং এবং (2) নং সমীকরণ হইতে আমরা পাই,

$$\frac{60 \times 60 \times 14 \times 14}{60 \times 60 \times 10 \times 10} = \frac{4\pi^2 I}{MH} \times \frac{M(H+F)}{4\pi^2 I}$$

$$= 1 + \frac{F}{H}.$$

বা, $\frac{F}{H} = \frac{24}{25},$

তৃতীয় ক্ষেত্রে

$$T_3 = 2\pi\sqrt{\frac{I}{M(H-F)}},$$

বা, $$\frac{60}{n} = 2\pi\sqrt{\frac{I}{M(H-F)}}.$$

বা, $$\frac{60\times 60}{n^2} = 4\pi^2\frac{I}{M(H-F)} \quad (3)$$

(1) নং এবং (3) নং সমীকরণ হইতে আমরা পাই,

$$\frac{60\times 60}{10\times 10}\times\frac{n^2}{60\times 60} = \frac{4\pi^2 I}{MH}\times\frac{M(H-F)}{4\pi^2 I}$$

বা, $$\frac{n^2}{100} = 1-\frac{F}{H} = 1-\frac{24}{25} = \frac{1}{25}.$$

বা, $$n^2 = \frac{100}{25} = 4.$$

∴ ঝুলন্ত চুম্বকটি প্রতি মিনিটে 2 দ্বারা পূর্ণ দোলন সম্পন্ন করিবে।

2. একটি পাতলা চুম্বকের দোলনকাল 4 সেকেণ্ড। ইহাকে সমান দুইটি খন্ডে ভাঙ্গিয়া ফেলা হইল। প্রত্যেক খণ্ডের দোলনকাল কত?

একটি চুম্বকের দোলনকাল নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়,

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{MH}} \quad (1)$$

যেখানে $I \rightarrow$ চুম্বকের জড়তা-ভ্রামক, $M \rightarrow$ চুম্বক ভ্রামক $H \rightarrow$ সমবল চুম্বকক্ষেত্র।

মনে করিলাম, প্রত্যেক চুম্বকখণ্ডের দোলনকাল $= T_1$, চুম্বক-ভ্রামক $= M_1$, চুম্বক-খণ্ডের জড়তা-ভ্রামক $= I_1$, $H =$ সমবল চুম্বকক্ষেত্র

অতএব $$T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{I_1}{M_1 H}} \quad (2)$$

(1)নং সমীকরণকে (2)নং সমীকরণ দ্বারা ভাগ করিয়া আমরা পাই,

$$\frac{T}{T_1} = \sqrt{\frac{I}{I_1}\,\frac{M_1}{M}} \quad (3)$$

মনে করিলাম, সম্পূর্ণ চুম্বকটির ভর $= W$, দৈর্ঘ্য $= l$, প্রস্থ $= b$, মোট শক্তি $= m$.

জড়তা-ভ্রামক $I = \frac{W}{12}(b^2 + l^2) = \frac{\omega\, l^2}{12}\left(1+\frac{b^2}{l^2}\right) = \frac{Wl^2}{12}$ [∴ $b^2 \leqslant l^2$ ]

এবং চুম্বক-ভ্রামক $M = m \times l.$

∴ প্রতি খণ্ডের জড়তা-ভ্রামক $$I_1 = \frac{\frac{W}{2}}{12}\left[\left(\frac{l}{2}\right)^2 + b^2\right] = \frac{Wl^2}{96}.$$

এবং চুম্বক-ভ্রামক $$M_1 = m \times \frac{l}{2}.$$

$$\therefore \frac{T}{T_1} = \sqrt{\frac{Wl^2}{12} \times \frac{96}{Wl^2} \times \frac{m \times \frac{l}{2}}{m \times l}} = 2$$

যেহেতু $T = 4$ second, সুতরাং $T_1 = \frac{4}{2} = 2$ second.

∴ প্রত্যেক চুম্বকখণ্ডের দোলনকাল = 2 second.

3. একটি চৌম্বক-শলাকার চৌম্বক-অক্ষ যে-কোন উলম্বতলে আনুভূমিক হইতে $\delta_1$ কোণে নত থাকে এবং প্রথম উলম্বতলের লম্ব উলম্বতলে $\delta_2$ নত থাকে। প্রমাণ কর, $\delta$ = প্রকৃত বিনতি কোণ হইলে $\cot^2\delta = \cot^2\delta_1 + \cot^2\delta_2$

[Allahabad 1953 ; Mysore 1951 ; Patna 1959 ; Delhi 1961 ; Agra 1951 ; J. E. E. 1984]

মনে করিলাম, কোন স্থানের বিনতি কোণ = $\delta$, উল্লম্ব-উপাংশ = V এবং আনুভূমিক উপাংশ = H. অতএব $\tan \delta = \frac{V}{H}$.

OB বরাবর H এর উপাংশ = $H \cos \alpha$ এবং উলম্ব-উপাংশ পরিবর্তিত হয় না, অর্থাৎ, উলম্ব-উপাংশ = V।

OB তলের বিনতি কোণ $\delta_1$ হইলে

$$\tan \delta_1 = \frac{V}{H \cos \alpha} \quad (1)$$

OC বরাবর H-এর উপাংশ = $H \sin \alpha$ এবং উল্লম্ব-উপাংশ = $V_1$. OC তলের বিনতি কোণ = $\delta_2$

$$\therefore \tan \delta_2 = \frac{V}{H \sin \alpha} \quad (2)$$

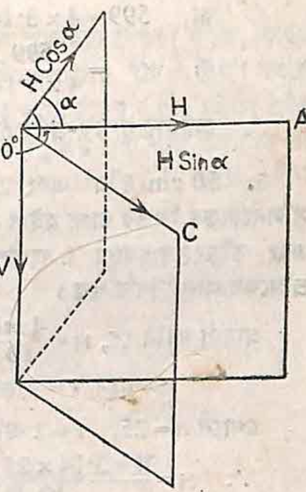



Fig. 12

(1)নং এবং (2) নং সমীকরণ হইতে,

$$\cot \delta_1 = \frac{H \cos \alpha}{V}$$

$$\cot \delta_2 = \frac{H \sin \alpha}{V}$$

বর্গ করিয়া এবং যোগ করিয়া পাই,

$$\cot^2\delta_1 + \cot^2\delta_2 = \frac{H^2}{V^2}(\sin^2\alpha + \cos^2\alpha)$$

বা, $\cot^2\delta_1 + \cot^2\delta_2 = \frac{H^2}{V^2} = \cot^2\delta$

বা, $\cot^2\delta = \cot^2\delta_1 + \cot^2\delta_2$.

4. 20 e. m. u. প্রাবল্যের একটি চুম্বকক্ষেত্র ·2 sq. cm প্রস্থচ্ছেদের একটি লোহার দণ্ডের মধ্যে 2400 e. m. u. চৌম্বকপ্রবাহ সৃষ্টি করে। লোহার চুম্বক-গ্রাহিতা এবং ভেদ্যতা নির্ণয় কর।

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে, চুম্বকক্ষেত্রের প্রাবল্য = 20 e. m. u.

চুম্বক আবেশ $B = \frac{\text{চুম্বক-প্রবাহ}}{\text{প্রস্থচ্ছেদ}} = \frac{2400}{\cdot 2} = 12000$ e. m. u.

চুম্বক-ভেদ্যতা $\mu = \frac{B}{H} = \frac{12000}{20} = 600$

আবার আমরা জানি যে,

$$B = H + 4\pi I.$$

$$\frac{B}{H} = 1 + 4\pi \frac{I}{H},$$

$$\mu = 1 + 4\pi K$$

বা, $600 = 1 + 4 \times 3{\cdot}14 \times K$

বা, $599 = 4 \times 3{\cdot}14\ K$

বা, $K = \frac{599}{4 \times 3{\cdot}14} = 47{\cdot}69$

∴ লোহার চুম্বক-গ্রাহিতা $K = 47{\cdot}69$ এবং চুম্বক-ভেদ্যতা $\mu = 600.$

5. 50 cm দীর্ঘ এবং 2 sq. mm প্রস্থচ্ছেদের একটি লোহার দণ্ডকে একটি সলিনয়েডের ভিতর রাখা হইল। ঐ সলিনয়েডের প্রতি সেণ্টিমিটারে পাক-সংখ্যা 25 এবং তড়িৎপ্রবাহমাত্রা 2 অ্যাম্পিয়ার; লোহার চুম্বক-ভেদ্যতা 400, দণ্ডের চুম্বক-ভ্রামকের মান নির্ণয় কর।

আমরা জানি যে, $H = \frac{4\pi n i}{10}$

যেখানে $i$ = তড়িৎপ্রবাহ, $n$ = পাক-সংখ্যা, $H$ = চুম্বক-প্রাবল্য।

এখানে $n = 25$, $i = 2$ অ্যাম্পিয়ার

∴ $H = \frac{4 \times 3{\cdot}14 \times 25 \times 2}{10} = 62{\cdot}80$ Oersted.

আবার আমরা জানি যে, $B = H + 4\pi I$ এবং $B = \mu H$ ∴ $\mu H = H + 4\pi I.$

বা, $(\mu - 1) H = 4\pi I.$ বা, $I = \frac{\mu - 1}{4\pi} H$

বা, $I = \frac{400 - 1}{4 \times 3{\cdot}14} \times 62{\cdot}80 = 1995$ C. G. S. একক

চুম্বকন পরিমাত্রা

$$I = \frac{M}{V}$$

বা $M = I \times V = 1995 \times 50 \times {\cdot}02$

$= 1995$ C. G. S. একক।

6. ·2 sq. cm ক্ষেত্রফল-বিশিষ্ট কোন দণ্ড-চুম্বকে 20 e.m.u. প্রাবল্য-বিশিষ্ট চুম্বকক্ষেত্র 2400 e.m.u. ফ্লাক্স তৈয়ারী করে। চুম্বক-ভেদ্যতা এবং চুম্বকন পরিমাত্রার মান নির্ণয় কর।

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে, $H = 20$ e.m.u. ; $\phi = 2400$ e.m.u. ; $A = \cdot 2$ sq. cm. যেখানে $\phi$ = চুম্বক-প্রবাহ।

অতএব, চুম্বক আবেশ $B = \frac{\phi}{A} = \frac{2400}{\cdot 2} = 12000$ e.m.u.

চুম্বক-ভেদ্যতা $\mu = \frac{B}{H} = \frac{12000}{20} = 600$

আবার আমরা জানি যে, $B = H + 4\pi I$.

বা, $I = \frac{B - H}{4\pi} = \frac{12000 - 20}{4 \times 3{\cdot}14} = \frac{11980}{4 \times 3{\cdot}14} = 953{\cdot}82$ e.m.u.

∴ চুম্বক-ভেদ্যতা $\mu = 600$ ; চুম্বকন পরিমাত্রা $I = 953{\cdot}82$ e.m.u.

7. দুইটি সদৃশ চুম্বকিত শলাকাকে এমনভাবে ঝুলাইয়া দেওয়া হইল, যাহাতে উহাদের দক্ষিণ মেরুগুলি একসঙ্গে থাকে। প্রতিটি শলাকার ভর ও দৈর্ঘ্য যথাক্রমে 4 gm এবং 20 cm। সাম্যাবস্থায় উত্তর মেরু-দুইটির মধ্যে দূরত্ব 4 cm হইলে প্রতিটি শলাকার মেরুশক্তি নির্ণয় কর। ধরিয়া লও যে, শলাকাগুলির মেরুশক্তি উহাদের প্রান্তে কেন্দ্রীভূত আছে। [ J. E. E. 1985 ]

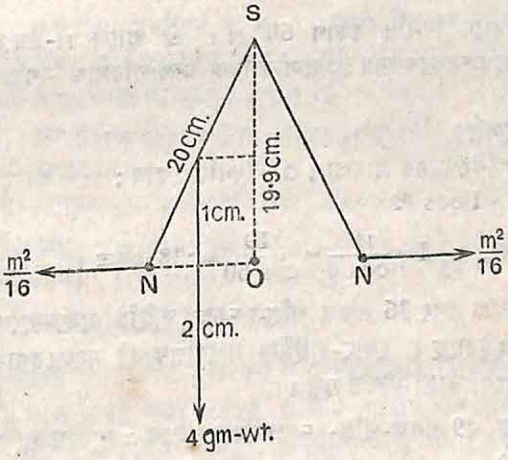



Fig. 13

মনে করিলাম, মেরুশক্তি = $m$. অতএব, উত্তর মেরুর উপর বিকর্ষণ-বল = $\frac{m^2}{4^2} = \frac{m^2}{16}$। শলাকাটির ওজন = $Mg = 4 \times 980$ dyne.

অতএব, 49 একক-শক্তি-সম্পন্ন মেরু হইতে 10·7 cm দূরত্বে প্রাবল্য শূন্য হইবে।

11. 12 cm চৌম্বক-দৈর্ঘ্য-বিশিষ্ট এবং 25 C.G.S. একক মেরুশক্তি সম্পন্ন একটি দণ্ড-চুম্বকের উত্তর মেরুকে উত্তরমুখী করিয়া কোনও স্থানের চৌম্বক মধ্যতল বরাবর ঐ দণ্ড-চুম্বককে রাখা হইল। ঐ স্থানের ভূ-চুম্বকক্ষেত্রের আনুভূমিক প্রাবল্য ·3 Oersted হইলে উদাসীন বিন্দুগুলির অবস্থান নির্ণয় কর। [ J. E. E. 1982 ]

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে, দণ্ড-চুম্বকটির উত্তর মেরু উত্তরমুখী হওয়ায় উদাসীন বিন্দুগুলি দণ্ড-চুম্বকের আড়াআড়ি চুম্বকের মধ্যবিন্দু হইতে সমদূরে অবস্থিত হইবে।

অতএব, দণ্ড-চুম্বকের আড়াআড়ি বিন্দুতে চুম্বক-প্রাবল্য

$$F_B = \frac{2ml}{(r^2+l^2)^{\frac{3}{2}}}$$

এখানে $m = 25$ C. G. S. একক ; $2l = 12$ cm ; $l = 6$ cm ;

$$F = \cdot 3 \text{ Oersted} ; \quad \cdot 3 = \frac{12 \times 25}{[r^2+36]^{\frac{3}{2}}}$$

বা, $[r^2+36]^{\frac{3}{2}} = \frac{12 \times 25}{\cdot 3} = 1000 = (10)^3$

বা, $r^2 + 36 = 100$ বা, $r^2 = 64$ বা, $r = 8$ cm.

12. একটি চুম্বককে একটি সূক্ষ্ম উল্লম্ব তার দ্বারা চুম্বক-মধ্যতলে এমনভাবে ঝুলানো হইল, যাহাতে তারটি ব্যর্তিত না হয়। যখন উপরের প্রান্তটি 58° ব্যর্তিত হয়, তখন চুম্বকটি 13°-তে বিক্ষেপিত হয়। যখন চুম্বকটি 30°তে আবর্তিত হয়, তখন উপরের প্রান্তটি কত কোণে ঘুরিবে ? [ sin 13° = ·225 ]

মনে করিলাম, 30° বিক্ষেপণে তারের উপরের প্রান্তটি $\theta$ কোণে ঘুরিবে এবং C = প্রতি একক মোচড়ে টর্ক।

অতএব $C(58-13) = MH \sin 13°$ এবং $C(\theta - 30) = MH \sin 30°$

সুতরাং $\frac{C(\theta-30)}{C(58-13)} = \frac{MH \sin 30°}{MH \sin 13°}$ বা, $\frac{\theta - 30}{45} = \frac{\frac{1}{2}}{\cdot 225}$

বা, $\theta = 30 + 45 \times \frac{1}{2} \times \cdot 225 = 130°$.

13. একটি পাতলা চোঙাকৃতি চুম্বকের ভূ-চুম্বকক্ষেত্রে দোলনকাল 6 সেকেন্ড। ইহাকে সমান দুইটি খণ্ডে বিভক্ত করা হইলে প্রতিটি খণ্ডের কম্পাঙ্কের মান বাহির কর। যদি অপর একটি ক্ষেত্রে প্রতিটি খণ্ডের দোলনকাল 10 sec হয়, তবে ক্ষেত্রের প্রাবল্য কত হইবে ?

মনে করিলাম, পাতলা চোঙাকৃতি চুম্বকের দোলনকাল = $T_1$ এবং ভগ্ন-অবস্থায় দোলনকাল = $T_2$

$\therefore \quad T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{I_1}{M_1 H}}$ এবং $T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{I_2}{M_2 H}}$.

শলাকাটির মধ্য বিন্দু হইতে নিম্নাভিমুখী বল ক্রিয়া করিতেছে। অতএব, S বিন্দুর সাপেক্ষে সমস্ত বলগুলির ভ্রামক লইয়া আমরা পাই,

$$\frac{m^2}{16} \times SO = 4 \times 980 \times 1 \qquad \text{বা,} \quad \frac{m^2}{16} \times \sqrt{(20)^2 - (2)^2} = 4 \times 980$$

$$\text{বা,} \quad m^2 = \frac{4 \times 980 \times 16}{\sqrt{400 - 4}} = \frac{4 \times 980 \times 16}{19{\cdot}9}$$

$$\text{বা,} \quad m = \sqrt{\frac{4 \times 980 \times 16}{19{\cdot}9}} = 56{\cdot}14 \text{ একক।}$$

8. কোন এক দণ্ড-চুম্বকের কার্যকর দৈর্ঘ্য 10 cm এবং মেরুশক্তি 125 C.G.S. একক। উহার S মেরুকে উত্তরমুখী করিয়া চুম্বক মধ্যতল বরাবর আনুভূমিকভাবে দণ্ডটি রাখা আছে। ঐ S-মেরুর উত্তরে 15 cm দূরে ছোট একটি কম্পাস-যন্ত্র রাখিলে উহার কাঁটা যে-কোন দিকে অবস্থান করিতে সক্ষম। ঐ স্থানে H-এর মান নির্ণয় কর। [ J. E. E. 1983 ]

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে, S-মেরুর উত্তরে 15 cm দূরে উদাসীন বিন্দু সৃষ্টি হইয়াছে। সুতরাং, উক্ত বিন্দু প্রান্তীয় অবস্থান বা tan A অবস্থানে আছে বলিয়া সেখানকার চুম্বক-প্রাবল্য,

$$F_A = \frac{2Mlr}{(r^2 - l^2)^2} = \frac{2 \times 125 \times 10 \times 20}{(20^2 - 5^2)^2} = {\cdot}352 \text{ C.G.S. একক।}$$

এখানে $F_A = H \quad \therefore \quad H = {\cdot}352$ Oersted.

[এখানে $M = 125$ একক, $l = 5$ cm, $2l = 10$ cm, $r = 5 + 15 = 20$ cm.]

9. কোন স্থানে বিনতি কোণ 60° N। ঐ স্থানে H-এর মান ·19 Oersted হইলে সেখানে ভূ-চুম্বকক্ষেত্রের প্রাবল্যের দিক এবং পরিমাণ নির্ণয় কর। [ J.E.E. 1983 ]

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে,

I = ভূ-চুম্বকক্ষেত্রের প্রাবল্য ; θ = বিনতি কোণ ; H = আনুভূমিক প্রাবল্য।

অতএব $H = I \cos \theta$.

$$\text{বা,} \quad I = \frac{H}{\cos \theta} = \frac{{\cdot}19}{\cos 60} = {\cdot}38 \text{ একক।}$$

10. 49 একক এবং 36 একক শক্তি-সম্পন্ন দুইটি সমমেরুকে বায়ুতে 20 cm ব্যবধানে রাখা হইয়াছে। মেরু-দুইটির সংযোগকারী সরলরেখার কোন্ জায়গায় প্রাবল্য শূন্য হইবে, তাহা নির্ণয় কর। [ J. E. E. 1982 ]

মনে করিলাম, 49 একক-শক্তি-সম্পন্ন মেরু হইতে $x$ দূরত্বে প্রাবল্য শূন্য হইবে।

$$\text{অতএব,} \quad \frac{49}{x^2} = \frac{36}{(20 - x)^2} \qquad \text{বা,} \quad \frac{7}{x} = \frac{6}{20 - x}$$

$$\text{বা,} \quad 140 - 7x = 6x \qquad \text{বা,} \quad 13x = 140$$

$$\text{বা,} \quad x = \frac{140}{13} = 10{\cdot}7 \text{ cm.}$$

সুতরাং $\frac{T_1}{T_2}=\sqrt{\frac{I_1}{I_2}\times\frac{M_2}{M_1}}$

এখানে $I_1=W_1\left(\frac{l_1^2}{12}+\frac{r_1^2}{4}\right)$ যেখানে $W_1\rightarrow$ চুম্বকের ভর।

বা, $I_1=\frac{W_1 l_1^2}{12}\quad\left[\because r_1^2\ll l_1^2\right]$

এবং $I_2=\frac{W_1}{2}\left(\frac{l_1}{2}\right)^2\cdot\frac{1}{12}=\frac{W_1 l_1^2}{96}$

$\therefore\quad \frac{I_1}{I_2}=\frac{W_1 l_1^2}{12}\Big/\frac{W_1 l_1^2}{96}=8$ এবং $\frac{M_1}{M_2}=\frac{2ml_1}{2ml_{1/2}}=2$

$\therefore\quad \frac{T_1}{T_2}=\sqrt{8/2}=2.$

যেহেতু $T_1=6$ sec., সুতরাং $T_2=3$ sec.

মনে করিলাম, অপর ক্ষেত্রের প্রাবল্য = F.

$\therefore\quad \frac{F_1}{F}=\frac{(\frac{1}{3})^2}{(\frac{1}{10})^2}=11\frac{1}{9}.$

14. নিকটতর মেরু হইতে 7 cm দূরে একটি দণ্ড-চুম্বকের অক্ষের উপর উদাসীন-বিন্দু পাওয়া গেল। দণ্ড-চুম্বকের মেরুদ্বয়ের ব্যবধান 4 cm এবং পৃথিবীর চুম্বকক্ষেত্রের আনুভূমিক উপাংশ ·36 oersted হইলে চুম্বকের মেরুশক্তি নির্ণয় কর। [J. E. E. 1979]

tan A অবস্থানে বা অক্ষীয় বিন্দুতে দণ্ড-চুম্বকের দরুন ক্ষেত্রপ্রাবল্য

$F_A=\frac{2Mr}{(r^2-l^2)^2}$ এবং $\cdot36=\frac{4\times m\times2\times9}{(81-4)^2}$

বা, $\cdot36\times77\times77=72\,m$

বা, $m=\frac{\cdot36\times77\times77}{72}=29\cdot65$

$\therefore$ চুম্বকের মেরুশক্তি = 29·65 e. m. u.

15. একটি দণ্ড-চুম্বক আনুভূমিকভাবে চৌম্বক মধ্যরেখা বরাবর এমনভাবে রাখা হইল যে, উহার দক্ষিণ মেরু উত্তরমুখী করা আছে। দক্ষিণ মেরু হইতে 10 cm দূরে একটি বিন্দুতে লব্ধি-চুম্বক তীব্রতা শূন্য দাঁড়ায়। চুম্বকটির মেরুদ্বয়ের মধ্যে দূরত্ব যদি 10 cm হয় এবং পৃথিবীর আনুভূমিক চুম্বকক্ষেত্র যদি ·2 হয়, তবে চুম্বকটির মেরুশক্তি বাহির কর। [J. E. E. 1981]

উদাসীন বিন্দুতে ক্ষেত্রপ্রাবল্য $F=\frac{2M}{r^3}$

বা, $\cdot2=\frac{2\times2\,ml}{r^3}$. বা, $\cdot2=\frac{2\times10\times m}{(15)^3}$.

বা, $m = \frac{\cdot 2 \times (15)^3}{2 \times 10} = 33\cdot 7$ একক

[ এখানে $2l = 10$ cm, $r = 10 + 5 = 15$ cm, $F = \cdot 2$ একক ]

16. একটি সরু উল্লম্ব তার দ্বারা ঝুলন্ত একটি চুম্বক, তারটি যখন মোচড়ানো না হয়, তখন পৃথিবীর চুম্বকক্ষেত্রের সমান্তরালে অবস্থিত আছে। তারের উপরের দিক 180° মোচড়ানো হওয়ায় চুম্বকটি আদি অবস্থান হইতে 30° কোণে বিচ্যুত হয়। আদি অবস্থান হইতে চুম্বকটিকে 45° কোণে বিচ্যুত করিতে তারের উপরের দিকটা কতটা ঘুরাইতে হইবে ? [J. E. E. 1981]

মনে করিলাম, 30° কোণে বিচ্যুত হইলে তারের উপরের দিকটা $\theta$ কোণে ঘুরিবে।

C = প্রতি একক মোচড়ে টর্ক।

অতএব $C[180 - 30] = MH \sin 30°$ এবং $C[\theta - 45] = MH \sin 45°$

বা, $\frac{\theta - 45°}{150°} = \frac{\sin 45°}{\sin 30°} = \frac{1}{\sqrt{2}} \times \frac{2}{1}$

বা, $\theta = 45° + 150 \times \frac{1}{\sqrt{2}} \times 2 = 257\cdot 16°$.

17. 100 এককের চুম্বক-ভ্রামক-যুক্ত একটি ছোট চুম্বক-শলাকার মধ্যবিন্দু হইতে 20 cm দূরে একটি বিন্দুতে চুম্বকক্ষেত্র নির্ণয় কর। মধ্যবিন্দু এবং ক্ষেত্র-বিন্দু যে সরলরেখা দ্বারা যুক্ত, তাহা চুম্বক-শলাকার অক্ষের সহিত 60° কোণ করিয়াছে। [J. E. E. 1980]

যে-কোন বিন্দুতে ক্ষেত্র-প্রাবল্য

$$F = \frac{M}{r^3}\sqrt{1 + 3\cos^2\theta}$$

এখানে $M = 100$ একক ; $\theta = 60°$ ; $r = 20$ cm.

$$\therefore \quad F = \frac{100}{20^3}\sqrt{1 + 3 \times \tfrac{1}{4}} = \frac{100}{20^3} \times \frac{\sqrt{7}}{2}$$

$$= \frac{50}{20 \times 20 \times 20} \times \sqrt{7} = \frac{\sqrt{7}}{160} = \frac{2\cdot 64575}{160} = \cdot 0165 \text{ oersted.}$$

যদি প্রাবল্য $r$ অভিমুখের সহিত $\beta$ কোণ সৃষ্টি করে, তবে

$$\tan\beta = \tfrac{1}{2}\tan\theta = \tfrac{1}{2}\tan 60° = \frac{\sqrt{3}}{2}$$

অর্থাৎ, $\beta = \tan^{-1}\frac{\sqrt{3}}{2}$.

18. একটি ঝুলন্ত চুম্বককে আনুভূমিকভাবে দোলায়িত করিলে কোন স্থানের বিনতি কোণ 30° হইলে প্রতি মিনিটে 50টি দোলন সম্পূর্ণ করে। অপর একটি

স্থানের বিনতি কোণ 45° হইলে প্রতি মিনিটে 40টি দোলন সম্পূর্ণ করে। এই দুই স্থানের মোট প্রাবল্যের অনুপাত নির্ণয় কর। [ U. P. B. ]

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে,

$$H_1 = I_1 \cos 30° = I_1 \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$H_2 = I_2 \cos 45° = I_2 \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$\therefore \frac{H_1}{H_2} = \frac{I_1\sqrt{3}}{2} \times \frac{\sqrt{2}}{I_2}$$

বা, $$\frac{I_1}{I_2} = \frac{2}{\sqrt{6}} \frac{H_1}{H_2} \quad (1)$$

আবার আমরা জানি যে,

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{MH}},$$ যেখানে I = জাড্য ভ্রামক।

$$\therefore T_1 = 2\pi\sqrt{\frac{I}{MH_1}}, \quad \text{বা} \quad T_1^2 = 4\pi^2 \frac{I}{MH_1}$$

$$T_2 = 2\pi\sqrt{\frac{I}{MH_2}}, \quad \text{বা} \quad T_2^2 = 4\pi^2 \frac{I}{MH_2}$$

সুতরাং $$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{4\pi^2 \frac{I}{MH_1}}{4\pi^2 \frac{I}{MH_2}} = \frac{H_2}{H_1}$$

বা, $$\frac{H_1}{H_2} = \frac{T_2^2}{T_1^2} = \frac{\left(\frac{60}{40}\right)^2}{\left(\frac{60}{50}\right)^2} = \frac{50 \times 50}{40 \times 40} = \frac{25}{16} \quad (2)$$

(1) এবং (2) নং সমীকরণ হইতে আমরা পাই,

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{2}{\sqrt{6}} \times \frac{25}{16} = \frac{85}{8\sqrt{6}},$$

19. অস্থৈতিক সমবায় বলিতে কি বুঝ? এইরূপ একটি সমবায়কে রেশম সুতা দ্বারা ঝুলাইলে প্রতি মিনিটে 2টি পূর্ণ দোলন সম্পন্ন করে। সমবায়ের একটি শলাকা বিপরীতমুখী হইলে প্রতি মিনিটে 30টি পূর্ণ দোলন সম্পন্ন করে। উহাদের চুম্বক ভ্রামকের অনুপাতের মান বাহির কর। [Banaras]

দুইটি চুম্বক NS এবং N'S'কে একত্রে ঝুলাইলে এবং একই দিকে উহাদের বিপরীত মেরুগুলি থাকিলে, উক্ত সমবায়কে অস্থৈতিক (Astatic) সমবায় বলে।

মনে করিলাম, NS দণ্ড-চুম্বকের চুম্বক-ভ্রামক $= M_1$ এবং N'S' দণ্ড-চুম্বকের চুম্বক-ভ্রামক $= M_2$

∴ অষ্টেতিক সমবায়ের দোলনকাল

$$T_1 = 2\pi \sqrt{\frac{I}{(M_1 - M_2)H}} \quad (1)$$

চুম্বকদ্বয়ের একটি চুম্বককে বিপরীতমুখী করা হইলে দোলনকালের রাশিমালা

$$T_2 = 2\pi \sqrt{\frac{I}{(M_1 + M_2)H}} \quad (2)$$

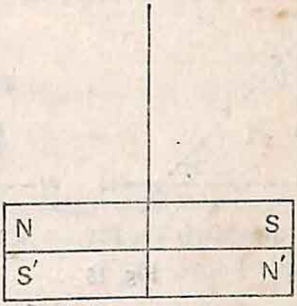



Fig. 14

(1) নং এবং (2) নং সমীকরণ হইতে আমরা পাই,

$$T_1^2 = 4\pi^2 \times \frac{I}{(M_1 - M_2)H} \text{ এবং } T_2^2 = 4\pi^2 \times \frac{I}{(M_1 + M_2)H}$$

$$\therefore \quad \frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{M_1 + M_2}{M_1 - M_2} \text{ বা, } \frac{M_1}{M_2} = \frac{T_1^2 + T_2^2}{T_1^2 - T_2^2}$$

প্রশ্নানুসারে, $T_1 = \frac{60}{2} = 30$ sec. এবং $T_2 = \frac{60}{30} = 2$ sec.

$$\text{বা, } \frac{M_1}{M_2} = \frac{30^2 + 2^2}{30^2 - 2^2} = \frac{904}{896} = \frac{113}{112}.$$

20. 7·5 gm ভরবিশিষ্ট একটি চুম্বক-শলাকার চুম্বক-ভ্রামক 98 একক। যদি উত্তর গোলার্ধের চুম্বক-শলাকাটিকে আনুভূমিক রাখিতে হয়, তাহা হইলে শলাকাটিকে ভারকেন্দ্র হইতে কতদূরে বিধৃত করিতে হইবে? ভূ-চুম্বকক্ষেত্রের প্রাবল্যের উল্লম্ব-উপাংশ $= \cdot 25$ Oersted. [J. E. E. 1986]

মনে করিলাম, ভারকেন্দ্র হইতে উত্তর মেরুর দিকে $x$ cm দূরে চুম্বক-শলাকাটিকে বিধৃত করিলে উক্ত শলাকাটি আনুভূমিক থাকিবে।

অতএব, ভ্রামকের নীতি অনুসারে আমরা পাই, $98 \times \cdot 25 = 7 \cdot 5 \times 980 \times x$

$$\text{বা, } x = \frac{98 \times \cdot 25}{7 \cdot 5 \times 980} = \cdot 00333 \text{ cm.}$$

21. N-S একটি ছোট চুম্বক। এর N প্রান্তকে পূর্বমুখী ক'রে এর অক্ষকে E-W বরাবর রাখা হ'ল। দেখাও যে, এর ফলে যে উদাসীন বিন্দুর সৃষ্টি হ'ল, সেটি চুম্বকের অক্ষের সঙ্গে, চুম্বকের কেন্দ্র দিয়ে একটি ধ্রুবক কোণ উৎপন্ন করে।

মনে করি N-S একটি ছোট চুম্বক, এর উত্তর মুখকে পূর্বমুখী ক'রে এর অক্ষকে

E-W দিক বরাবর রাখা হ'ল। এর ফলে, O বিন্দু থেকে $r$ দূরত্বে $n$ বিন্দুতে একটি উদাসীন বিন্দু $h$ পাওয়া গেল, যেটি N-S-চুম্বকের অক্ষের সঙ্গে $\theta$ কোণ উৎপন্ন করছে (fig. 15)। প্রমাণ করতে হবে $\theta$ = ধ্রুবক।

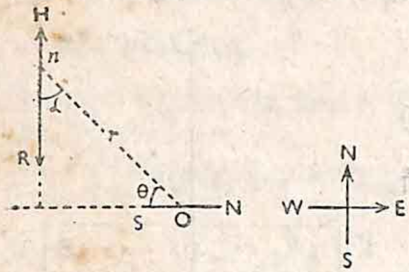


Fig. 15

যেহেতু ভূ-চুম্বকত্বের আনুভূমিক উপাংশ চৌম্বক অক্ষের সঙ্গে সমকোণে আছে, অতএব $n$ বিন্দুতে N-S এর জন্য লব্ধি-প্রাবল্য H-এর সমান ও H-এর বিপরীতে একই রেখা $n$R বরাবর থাকে। এখন $n$R, $n$O-র সঙ্গে $\alpha$-কোণ উৎপন্ন করলে,

$$\tan \alpha = \frac{\tan \theta}{2} \quad (1)$$

[ $(r, \theta)$ বিন্দুতে কোন চুম্বকের জন্য প্রাবল্যের মান দ্রষ্টব্য ]

কিন্তু $\triangle n$RS একটি সমকোণী ত্রিভুজ,

$\therefore \quad \theta + \alpha = 90° \qquad \therefore \quad \alpha = 90° - \theta$

$\therefore \quad \tan \alpha = \tan (90° - \theta) = \cot \theta \quad (2)$

$\therefore$ (1) থেকে, $\tan \alpha = \frac{\tan \theta}{2} \qquad \therefore \quad \cot \theta = \frac{\tan \theta}{2}$ বা, $\tan^2 \theta = 2$

$\therefore \quad \tan \theta = \sqrt{2}$ বা, $\theta = \tan^{-1} \sqrt{2} = 54{\cdot}7°$ = ধ্রুবক।

22. দুটি 4 gm ভরের সেলাই করার সূঁচকে সমপরিমাণে চুম্বকিত করা হ'ল। উভয়ের দক্ষিণ মেরু একসঙ্গে আটকে ঝুলিয়ে দেওয়া হ'ল। এর ফলে, উত্তর মেরু দুটি নিম্নাভিমুখী হয়ে ঝুলতে লাগলো। দক্ষিণ মেরু বরাবর চুম্বক-দুটি ঘুরতে পারে। দেখা গেল যে, উত্তর মেরু দুটি বিকর্ষিত হয়ে 4 cm দূরে সরে গেল। যদি চুম্বকদ্বয়ের দৈর্ঘ্য 20 cm এবং এদের ভারকেন্দ্রদ্বয়ের দূরত্ব আবদ্ধ দক্ষিণ মেরু থেকে 10 cm হয়, তাহলে চুম্বকদ্বয়ের মেরুশক্তি নির্ণয় কর।

মনে করি, $SN_1$ ও $SN_2$ দুটি চুম্বক S-বিন্দু থেকে এদের S মেরুতে একত্রিত ক'রে ঝুলছে এবং এদের উত্তর মেরুদ্বয় $N_1$ ও $N_2$ পরস্পর থেকে 4 cm দূরে ঝুলছে (fig. 16)।

মনে করি, চুম্বক-দুটির মেরুশক্তি $m_1 = m_2 = m$

$\therefore$ $N_1$ ও $N_2$-র মধ্যে বিকর্ষণ বল $= \frac{m^2}{16}$ dyne.

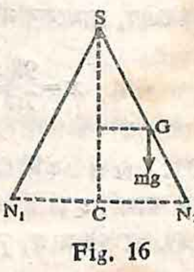


Fig. 16

এখন সমকোণী ত্রিভুজ $SCN_2$ থেকে $SN_2 = 20$ cm এবং $CN_2 = 2$ cm.

$\therefore \quad SC = \sqrt{400-4} = \sqrt{396}$ cm.

এখন চুম্বক-দুটির সমমেরু দ্বারা সৃষ্ট বিকর্ষণ বল চুম্বক-দুটিকে S-মেরু

সাপেক্ষে ঘড়ির কাঁটার বিপরীতে ঘোরাতে প্রয়াস পায় এবং এদের ওজন $mg$ ঘড়ির কাঁটার দিকে ঘোরাতে প্রয়াস পায়। যখন এই দুটি বলের ভ্রামক সমান হয়, তখনই চুম্বকদ্বয় স্থিরাবস্থায় থাকে।

এখন S-মেরু সাপেক্ষে বিকর্ষণ-জনিত বলের ভ্রামক

$$F = \frac{m^2}{16} \times SC = \frac{m^2}{16} \times \sqrt{396} \text{ dyne-cm.}$$

আবার, চুম্বক-শলাকার ওজন-জনিত বলের ভ্রামক $S = mg \times DG$

$$= 4 \times 981 \times 1 \text{ dyne-cm.}$$

$[\because \quad DG = 1 \text{ cm }].$

$$\therefore \quad \frac{m^2}{16} \times \sqrt{396} = 4 \times 981$$

$$\therefore \quad m = \sqrt{\frac{16 \times 4 \times 981}{\sqrt{396}}} = 56{\cdot}18 \text{ C. G. S.} \text{ একক।}$$

23. দুটি ক্ষুদ্র চুম্বক সমকোণে এমনভাবে রাখা আছে, যাতে উভয়ের অক্ষ-সংযোগকারী রেখা চুম্বকদ্বয়ের ছেদবিন্দু থেকে 30 cm এবং 40 cm দূরে অবস্থিত থাকে। এদের চৌম্বক ভ্রামক যথাক্রমে 108 এবং 192 একক। উভয় চুম্বকের উত্তর মেরু যদি ছেদবিন্দু অভিমুখে থাকে, তাহলে ছেদবিন্দু বরাবর প্রাবল্যের মান ও দিক নির্ণয় কর।

মনে করি $N_1S_1$ ও $N_2S_2$ চুম্বক-দুটি পরস্পর লম্বরেখার উপর অবস্থিত। ঐ লম্বরেখা-দুটির ছেদবিন্দু P। এখন $N_1S_1$ চুম্বক সাপেক্ষে P বিন্দু অক্ষ-বরাবর আছে (fig. 17)।

$\therefore$ P বিন্দুতে $N_1S_1$-র জন্য প্রাবল্য $F = \frac{2M}{d^3}$ [ $\because$ চুম্বকটি খুবই ছোট]

$$\therefore \quad F_1 = \frac{2 \times 192}{(40)^3} = \frac{3}{500} \text{ dyne.}$$

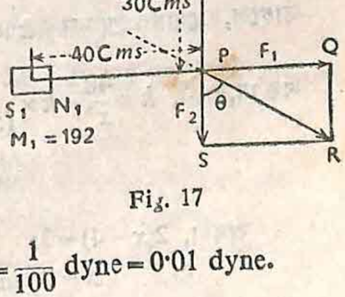


Fig. 17

একইভাবে $N_2S_2$ চুম্বকটির জন্য P বিন্দুতে প্রাবল্য,

$$F_2 = \frac{2M}{d^3} = \frac{1 \times 108}{(30)^3} = \frac{1}{125} \text{ dyne}$$

$\therefore$ বলের সামান্তরিক সূত্র প্রয়োগ ক'রে $F_1$ ও $F_2$ বলের লব্ধি

$$R = \sqrt{\left(\frac{3}{500}\right)^2 + \left(\frac{1}{125}\right)^2} = \frac{1}{125} \times \frac{5}{4} = \frac{1}{100} \text{ dyne} = 0{\cdot}01 \text{ dyne.}$$

এবং $\tan\theta = \frac{F_1}{F_2} = \frac{3}{500} \times \frac{125}{1} = \frac{3}{4}$ বা, $\theta = \tan^{-1}(0{\cdot}75)$.

24. $l$-দৈর্ঘ্য-বিশিষ্ট একটি স্টীলের তারের চৌম্বক ভ্রামক M ; এখন যদি তারটিকে বাঁকিয়ে অর্ধ-বৃত্তাকার করা হয়, তাহলে দেখাও যে, এখন এর চৌম্বক ভ্রামক হবে $2M/\pi$.

অর্ধ-বৃত্তাকার তারটির ব্যাসার্ধ যদি $r$ হয়, তাহলে $\pi r = l$

$$\text{বা,}\quad r = \frac{l}{\pi}$$

সুতরাং, এখন চুম্বকের মেরুদ্বয়ের মধ্যে দূরত্ব $= 2r$,

এখন যদি চুম্বকের মেরুশক্তি $m$ হয়, তাহলে $M = 2ml$

সুতরাং, তারটির বর্তমান চৌম্বক ভ্রামক

$$= 2r \times m = \frac{2l}{\pi} \times m = \frac{2M}{\pi}.$$

## ● স্থির তড়িৎ-বিজ্ঞান ●

1. +40 e. s. u. আধানের কোন বস্তুকে −90 e. s. u. আধানের কোন বস্তু থেকে 4 cm দূরে রাখা হয়েছে। এই দুই আধানের সংযোগকারী রেখার কোন্ বিন্দুতে প্রাবল্য শূন্য হবে ?

ধরা যাক, প্রথম আধান (+40 e. s. u.) থেকে $x$ cm দূরে, আধানদ্বয়ের জন্য তড়িৎ-প্রাবল্য শূন্য।

প্রথম আধানের জন্য তড়িৎ-প্রাবল্য $= k \times \frac{40}{x^2}$ এবং এর অভিমুখ −90 e. s. u. আধানের দিকে।

দ্বিতীয় আধানের জন্য তড়িৎ-প্রাবল্য $= k \times \frac{-90}{(x-4)^2}$. এবং এর অভিমুখ +40 e.s.u. আধানের দিকে।

তাহলে, মোট প্রাবল্য $= k \times \frac{40}{x^2} + k \times \frac{-90}{(x-4)^2}$

শর্তানুযায়ী, $k \times \frac{40}{x^2} + k \times \frac{-90}{(x-4)^2} = 0$ বা, $\frac{4}{x^2} = \frac{9}{(x-4)^2}$

$$\text{বা,}\quad \frac{2}{x} = \pm\frac{3}{x-4}$$

অথবা, $2(x-4) = 3x$ বা, $2(x-4) = -3x$.

বা, $x = 8$ cm. বা, $x = \frac{8}{5} = 1{\cdot}6$ cm.

$x = 1{\cdot}6$ cm অবস্থানটিতে অর্থাৎ আধান-দুটির মধ্যে +40 e.s.u. থেকে অপরটির দিকে 1·6 cm দূরে প্রাবল্যদ্বয়ের মান সমান বটে, কিন্তু সমমুখী। তাই

এ অবস্থানে লব্ধিপ্রাবল্য শূন্য নয়। পক্ষান্তরে, $x=-8$ cm অবস্থানটিতে প্রাবল্য-দুটি পরস্পর সমান এবং বিপরীতমুখী। অতএব, +40 e.s.u. থেকে অপর আধানের বিপরীত দিকে 8 cm দূরে প্রাবল্য শূন্য হবে।

2. 50 mgm ভরের কোন ছোট শোলার বলে 100 e. s. u. তড়িতাধান আছে। ঐ বলটির ঠিক 10 cm উপরে এবং বায়ুতে কত আধানের আর একটি বল রাখলে, শোলার বলটি সাম্য অবস্থায় থাকবে ?

প্রদত্ত চিত্র (fig. 18) দ্রষ্টব্য। A হ'ল 100 e. s. u. তড়িতাধান-যুক্ত শোলার বল। এর ভার (ভার একটি বল) সোজা নীচের দিকে ক্রিয়া করছে ($mg$)। শোলার বলের ঠিক 10 cm উপরে যদি বিপরীত আধানের অপর একটি বল (B) রাখা হয়, তবে A এবং B-এর মধ্যে আকর্ষণ হবে। এই আকর্ষণ বল, ভার যে-রেখা বরাবর ক্রিয়া করছে, সেই রেখা বরাবর কিন্তু বিপরীত দিকে ক্রিয়া করছে। এই দুই বলের (force) মান সমান হলেই শোলার বলটি সাম্য অবস্থায় থাকবে।

ধরা যাক, B-বলটিতে $x$ তড়িতাধান আছে। তাহলে, $F=1\times\frac{100x}{10^2}=x$

আবার, $mg=50$ mgm.-wt. $=\frac{50}{1000}$ gm-wt.

$=\frac{50}{1000}\times 980$ dyne.

শর্তানুসারে, $\frac{50}{1000}\times 980=x$ বা, $x=49$ e. s. u.

তাহলে, শোলার বলের বিপরীত ধরনের আধান (যার মান 49 e. s. u.) 10 cm উপরে রাখলে শোলার বলটি সাম্য অবস্থায় থাকবে।

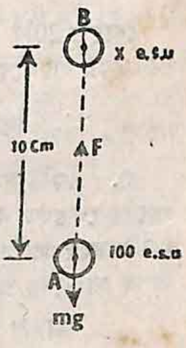


Fig. 18

3. 20 cm ব্যাস-বিশিষ্ট দুটি গোলাকার ধাতব পাতকে বায়ুতে পরস্পরের থেকে 0·5 mm দূরে রেখে সমান্তরাল পাত-ধারক তৈরী করা হ'ল। যদি পাত-দুটির মধ্যে বিভব-বৈষম্য 300 volt হয়, তবে ধারকটির আধান কত হবে, তা নির্ণয় কর।

(1 volt $=\frac{1}{300}$ বিভব বৈষম্যের স্থির তাড়িতিক একক)

ধাতব-পাতের ব্যাসার্ধ = 10 cm $\therefore$ এর ক্ষেত্রফল $=\pi\times 10^2$ cm²

এই পাত-দুটির মধ্যে দূরত্ব = 0·5 mm = 0·05 cm. যেহেতু পাত-দুটি বায়ুতে রাখা আছে, সেহেতু $k=1$.

$$\therefore \text{ ধারকত্ব } C=\frac{\pi\times 10^2}{4\pi\times\cdot 05}=500$$

আবার বিভব-বৈষম্য = 300 volt = 1 e. s. u.

$\therefore$ ধারকটিতে তড়িতাধানের পরিমাণ Q হলে

$Q=CV=500\times 1=500$ e. s. u.

4. 10 cm ব্যাসবিশিষ্ট 21টি গোলাকার ধাতব পাত দ্বারা একটি সমান্তরাল

পাত-ধারক তৈরী করা হ'ল। এই প্লেটগুলিকে 0·2 mm চওড়া অভ্র দ্বারা পৃথক ক'রে রাখা আছে। যদি একটি অন্তর একটি পাত একসংগে যোগ করা থাকে, তবে ধারকটির মাইক্রো-ফ্যারাড এককে ধারকত্ব নির্ণয় কর (দেওয়া আছে—অভ্রের মাধ্যমাঙ্ক 6)।

যেহেতু 21টি পাত একটি অন্তর একটি একসঙ্গে যুক্ত, সেহেতু 20টি ধারক সমান্তরাল সমবায়ে সজ্জিত আছে।

এখন প্রতি প্লেটের ক্ষেত্রফল $A = \pi \times 5^2$

এবং দুইটি প্লেটের মধ্যে দূরত্ব $= \cdot 2$ mm $= 0{\cdot}02$ cm এবং $K = 6$.

সুতরাং, ধারকটির ধারকত্ব $C = \dfrac{A}{4\pi \times \dfrac{d}{K}}$

$$\therefore \quad C = \frac{\pi \times 5^2}{4\pi \times \dfrac{0{\cdot}02}{6}} = \frac{5^2 \times 6}{4 \times 0{\cdot}02} = 1875 \text{ e. s. u.}$$

$$= \frac{1875}{9 \times 10^5} \text{ micro-farad.}$$

যেহেতু 20টি ধারক সমান্তরাল সজ্জায় আছে, সেহেতু এদের মোট ধারকত্ব হবে প্রত্যেকের ধারকত্বের যোগফল।

$$\therefore \quad \text{নির্ণেয় ধারকত্ব} = \frac{20 \times 1875}{9 \times 10^5} = 0{\cdot}042 \text{ micro-farad.}$$

5. একটি সমান্তরাল পাত-ধারকের পাতের মাঝখানের মাধ্যম বায়ু। প্রত্যেক পাতের ক্ষেত্রফল 400 sq. cm এবং পাত-দুটির মধ্যকার দূরত্ব $\frac{1}{2}$ mm। একটি পাত মাটির সঙ্গে লাগিয়ে অপর পাতের বিভব 200 এককে বাড়ানো হলে প্রত্যেক পাতের উপর আধানের পরিমাণ নির্ণয় কর।

আমরা জানি, কোন ধারকের ধারকত্বের পরিমাণ C হলে

$$C = \frac{KA}{4\pi d}.$$

যেহেতু মাধ্যমটি বায়ু, সেহেতু $K = 1$.

$$\therefore \quad C = \frac{1 \times 400}{4 \times 3{\cdot}142 \times 0{\cdot}05} = 636{\cdot}9 \text{ e. s. u.}$$

আবার প্রত্যেক পাতের আধানের পরিমাণ $= C \times V$.

$$= 636{\cdot}9 \times 200 = 127380 \text{ e.s.u.}$$

6. যদি দুটি ধারককে সমান্তরাল সজ্জায় সাজালে তাদের সমতুল্য ধারকের ধারকত্ব 5 $\mu$F হয়, আবার এদের শ্রেণী-সজ্জায় সাজালে এই মান 1·2 $\mu$F হয়, তাহলে ধারক-দুটির ধারকত্ব কত?

ধরা যাক, ধারক-দুটির ধারকত্ব যথাক্রমে $C_1$ ও $C_2$ এবং যখন এরা সমান্তরাল সজ্জায় থাকে, তখন ধারকত্বের মান হয় 5 অর্থাৎ,

$$5 = C_1 + C_2 \qquad (1)$$

আবার যখন এরা শ্রেণী-সমবায়ে থাকে, তখন $\frac{1}{1.2} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$ (2)

সমীকরণ (1) ও (2) থেকে $C_1 = 2$ এবং $C_2 = 3$ পাই।

অর্থাৎ, ধারক-দুটির ধারকত্ব $2\mu F$ ও $3\mu F$ হবে।

7. 1 $\mu F$ ধারকত্ব-বিশিষ্ট একটি ধারককে 10,000 volt-এ তড়িতাহিত করা হ'ল এবং একে একটি তার দ্বারা নিস্তড়িৎ করা হ'ল। যদি সমস্ত শক্তিই তারটিকে উত্তপ্ত করিতে ব্যয়িত হয়, তবে কত ক্যালরি তাপ উদ্ভূত হবে?

এখানে ধারকটির ধারকত্ব $C = 1\mu F = 10^{-6}\ F = 10^{-6} \times 9 \times 10^{11}$ e. s. u.

$$= 9 \times 10^5 \text{ e. s. u.}$$

বিভব বৈষম্য $V = 10{,}000 \text{ volt} = \frac{10000}{300} \text{ e. s. u.} = \frac{100}{3} \text{ e. s. u.}$

সুতরাং, মোট শক্তি $= \frac{1}{2}\ C.V^2 = \frac{1}{2} \times 9 \times 10^5 \times \left(\frac{100}{3}\right)^2$

$$= \frac{10^9}{2} \text{ erg} = \frac{10^9}{2 \times 4.2 \times 10^7} \text{ calorie.}$$

$$= 12 \text{ calorie} \qquad [\because 1 \text{ cal} = 4.2 \times 10^9 \text{ erg}]$$

8. 0·6 mm চওড়া কাগজ ও বায়ুকে মাধ্যম হিসাবে ব্যবহার ক'রে একটি সমান্তরাল পাত-ধারক তৈরি করা হ'ল। পাত-দুটির প্রত্যেকটির ক্ষেত্রফল 200 sq. cm এবং এদের 1 mm দূরে রাখা আছে। ধারকটির ধারকত্ব নির্ণয় কর। এর বায়ু ও কাচের সম মাধ্যমের মাধ্যমাঙ্ক নির্ণয় কর। (কাগজের মাধ্যমাঙ্ক = 4)।

আমরা জানি, মিশ্র মাধ্যমযুক্ত ধারকের ধারকত্ব

$$C = \frac{A}{4\pi\left\{\frac{d-t}{k_1} + \frac{t}{k_2}\right\}}$$

এখানে $d = 1$ mm $= 0.1$ cm এবং $t = .6$ mm $= .06$ cm.

$$C = \frac{200}{4 \times 3.14\left\{\frac{0.1 - .06}{1} + \frac{.06}{4}\right\}} = \frac{200}{4 \times 3.14 \times \frac{22}{4} \times 0.01} \text{ e. s. u.}$$

$$= \frac{200 \times 100}{3.14 \times .22 \times 9 \times 10^{11}} \text{ farad} \qquad [\because 1 \text{ farad} = 9 \times 10^{11} \text{ e. s. u.}]$$

$$= \frac{200 \times 100}{3.14 \times 22 \times 9 \times 10^7} \text{ farad}$$

$$= \frac{200 \times 10^6 \times 100}{314 \times 22 \times 9 \times 10^7}\ \mu F = 3.217 \text{ micro-farad}$$

আবার সম মাধ্যমের মাধ্যমাঙ্ক K হলে

$$K = \frac{k_1 k_2 (d_1 + d_2)}{k_2 d_1 + k_1 d_2} \qquad [\text{এখানে } d_1 = d - t \text{ এবং } d_2 = t.]$$

$$= \frac{1 \times 4 \times 0.1}{4 \times .04 + 1 \times .06} = 1.8.$$

9. 100 sq. cm ক্ষেত্রফলের দুটি পাতকে 1 cm পার্থক্যে রেখে একটি সমান্তরাল পাত-ধারক তৈরী করা হ'ল। 5 cm দৈর্ঘ্য ও প্রস্থ বিশিষ্ট এবং 1 cm পুরু একটি বর্গাকার কাচ-ফলককে ঐ পাত-দুটির মধ্যে রাখা হ'ল। ধারকটির ধারকত্ব নির্ণয় কর। কাচের মাধ্যমাঙ্ক = 10.

এখানে কাচটি পাত-দুটিকে পুরোপুরি ঢাকছে না। এ অবস্থায় ধারকের ধারকত্ব C হলে, আমরা জানি $C=\frac{A_1}{4\pi d}+\frac{A_2}{4\pi\left(d-t+\frac{t}{K}\right)}$

$$=\frac{A_1}{4\pi d}+\frac{KA_2}{4\pi d} \qquad [\because d=t=1 \text{ cm}]$$

$$=\frac{A_1+KA_2}{4\pi}=\frac{75+(10\times 25)}{4\pi}=25{\cdot}85 \text{ e. s. u.}$$

$$(\because A_1=100-A_2=100-25=75)$$

10. একটি সমান্তরাল পাত-ধারকের পাতগুলির মধ্যবর্তী দূরত্ব 2 cm। একটি 1 cm পুরু মাধ্যমকে (মাধ্যমাঙ্ক = 5) পাতগুলির সঙ্গে সমান্তরাল ধারকটির মধ্যে রাখা হ'ল। পাতগুলির মধ্যেকার দূরত্ব কত হলে ধারকটির ধারকত্ব স্থির থাকবে ?

আমরা জানি, $C=\frac{k.A}{4\pi.d}$

প্রথম ক্ষেত্রে সমান্তরাল পাত-ধারকের মধ্যবর্তী মাধ্যম বায়ু হওয়ায় $k=1$,

$$\therefore C=\frac{A}{4\pi.2}$$

আবার, দ্বিতীয় ক্ষেত্রে পাত-দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব $d'$। এর মধ্যে আবার $t$ (=1 cm) পুরু মাধ্যম থাকায় [যার মাধ্যমাঙ্ক = 5] $(d'-t)$ বায়ু দ্বারা পূর্ণ।

$$\therefore C=\frac{A}{4\pi\{(d'-t)+t/k\}}=\frac{A}{4\pi\{d'-1+\frac{1}{5}\}}$$

প্রশ্নানুযায়ী ধারকটির ধারকত্ব উভয় ক্ষেত্রে সমান ব'লে

$$\frac{A}{4\pi\times 2}=\frac{A}{4\pi(d'-1+\frac{1}{5})}$$

বা, $2=d'-1+\frac{1}{5}$ বা, $d'=2{\cdot}8$ cm.

11. 4 mm পুরু একটি মাধ্যমকে একটি সমান্তরাল পাত-ধারকের মধ্যে প্রবেশ করানো হ'ল। ধারকটির ধারকত্ব অপরিবর্তিত রাখবার উদ্দেশ্যে সমান্তরাল পাত-দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব 3·5 mm বাড়ানো হ'ল। মাধ্যমটির মাধ্যমাঙ্ক নির্ণয় কর।

আমরা জানি, সমান্তরাল পাত-ধারকের (যার মধ্যবর্তী মাধ্যম বায়ু) ধারকত্ব

$$C=\frac{A}{4\pi d} \qquad (1)$$

যখন $t$ (= 4 mm) পুরু মাধ্যমটিকে সমান্তরাল পাত-ধারকের মধ্যে প্রবেশ করানো হ'ল, তখন সমান্তরাল পাত-দুটির মধ্যবর্তী দূরত্ব $d_1$ এমনভাবে করা হ'ল, যাতে ধারকের ধারকত্ব C অপরিবর্তিত থাকে।

$$\therefore\ C = \frac{A}{4\pi\left\{(d_1 - t) + \frac{t}{k}\right\}} \qquad (2)$$

এখন (1) ও (2) থেকে আমরা পাই,

$d = d_1 - t + t/k$ বা, $d_1 - d = t - t/k$

কিন্তু $d_1 - d = 3{\cdot}5$ mm $= 0{\cdot}35$ cm, $t = 4$ mm $= 0{\cdot}4$ cm

$\therefore\ 0{\cdot}4 - 0{\cdot}35 = \frac{0{\cdot}4}{k}$ বা, $\frac{0{\cdot}4}{k} = 0{\cdot}05$

$\therefore\ k = \frac{0{\cdot}4}{0{\cdot}05} = 8$ $\therefore$ মাধ্যমটির মাধ্যমাঙ্ক = 8.

## ● স্থির তড়িৎ-বিজ্ঞান ●

12. ABCD একটি বর্গক্ষেত্র যার প্রত্যেক বাহুর দৈর্ঘ্য 4 cm। +16, −16 এবং +32 e. s. u. আধান যথাক্রমে A, C এবং D বিন্দু-তিনটিতে রাখা হ'ল। B-বিন্দুতে প্রাবল্যের মান নির্ণয় কর।

মনে করি, ABCD একটি 4 cm বাহু বিশিষ্ট বর্গক্ষেত্র এবং +16, −16 এবং +32 e. s. u. আধানগুলি A, C ও D বিন্দুতে রয়েছে।

পাশের চিত্র থেকে (fig. 19)

$BD = \sqrt{4^2 + 4^2} = 4\sqrt{2}$ cm.

এখন এই তিনটি আধানের জন্যে B-বিন্দুতে প্রাবল্য নির্ণয় করতে B-বিন্দুতে একটি +1 e. s. u. আধান কল্পনা করা হ'ল।

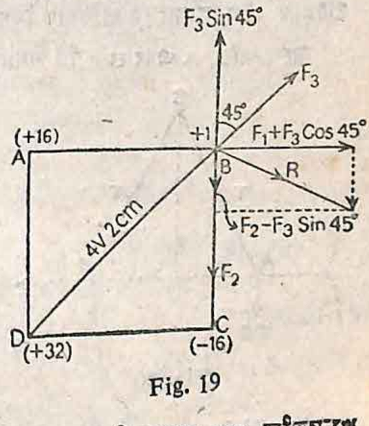



Fig. 19

এখন, A-বিন্দুতে +16 e. s. u. আধানের জন্য B-বিন্দুতে AB বরাবর প্রাবল্য

$$F_1 = \frac{16 \times 1}{4^2} = 1 \text{ dyne.}$$

আবার C বিন্দুতে −16 e. s. u. আধানের জন্য B-বিন্দুতে BC অভিমুখে প্রাবল্য $F_2 = \frac{16 \times 1}{4^2} = 1$ dyne

এবং D বিন্দুতে +32 e. s. u. আধানের জন্য DB বরাবর প্রাবল্য

$$F_3 = \frac{32 \times 1}{(4\sqrt{2})^2} = 1 \text{ dyne.}$$

এখন $F_3$ বলটিকে AB এবং CB অভিমুখে দুই উপাংশে বিভাজিত করলে বিভাজিত উপাংশগুলি যথাক্রমে

$$1 \times \cos 45^\circ \left(=\frac{1}{\sqrt{2}}\right) \text{ এবং } 1 \times \sin 45^\circ \left(=\frac{1}{\sqrt{2}}\right) \text{ হয়।}$$

তাহলে, AB বরাবর এই বলগুলির লব্ধি $=\left(1+\frac{1}{\sqrt{2}}\right)$ dyne

এবং BC " " " " $=\left(1-\frac{1}{\sqrt{2}}\right)$ dyne

∴ এই বলগুলির লব্ধি-বল,

$$R=\sqrt{\left(1+\frac{1}{\sqrt{2}}\right)^2+\left(1-\frac{1}{\sqrt{2}}\right)^2}=\sqrt{3} \text{ dyne.}$$

আবার এই লব্ধি-বল R যদি AB-র সঙ্গে $\beta$ কোণ উৎপন্ন করে, তাহলে

$$\tan \beta=\frac{1-\frac{1}{\sqrt{2}}}{1+\frac{1}{\sqrt{2}}}=\frac{\sqrt{2}-1}{\sqrt{2}+1}=\tan 9^\circ 54'$$

∴ $\beta=9^\circ 54'$.

13. এক ডেসিগ্রাম ভরের দুটি ছোট ধাতব বল কোন একটি বিন্দু থেকে 50 cm লম্বা দুটি সুতো দিয়ে ঝোলানো হয়েছে। বল-দুটিতে একই ধরনের সমান আধান আছে। বিকর্ষণের ফলে উভয়ের দূরত্ব 20 cm হয়েছে। $g=980$ cm/sec$^2$ হলে প্রত্যেক বলে আধানের পরিমাণ নির্ণয় কর।

মনে করি, A এবং B দুটি সমান আধানযুক্ত (e. s. u.) গোলক (fig. 20)।

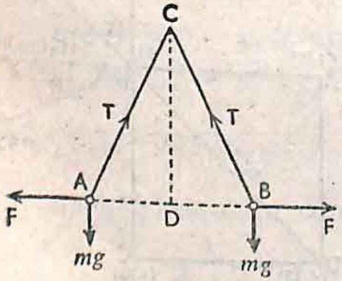



Fig. 20

এখানে $q_1=q_2=q$ e. s. u.

AB $=r=20$ cm.

∴ A এবং B-র মধ্যে বিকর্ষণ-বল

$$F=\frac{q \times q}{20^2}=\frac{q^2}{400} \text{ dyne.}$$

এখন সাম্য অবস্থায় এই দুটি গোলক তিনটি বল দ্বারা প্রভাবিত হয়—(i) নীচের দিকে ক্রিয়াশীল; এদের ওজন 0·1 gm (=98 dyne)। (ii) সুতোর দিক বরাবর T টান, (iii) গোলক-দুটির মধ্যে বিকর্ষণ-বল $\left(F=\frac{q^2}{400} \text{ dyne}\right)$

এখন সাম্য অবস্থায় A গোলকটির উপর যে তিনটি বল ক্রিয়া করছে, তারা △ACD-র বাহুগুলির সঙ্গে সমানুপাতিক।

$$\therefore \quad \frac{q^2}{400}\Big/98=\frac{AD}{CD}=\frac{10}{\sqrt{(50)^2-(10)^2}}$$

$$\therefore \quad q^2 = \frac{10 \times 98 \times 400}{\sqrt{2400}}$$

$$\therefore \quad q = \pm 89{\cdot}44 \text{ e. s. u.}$$

14. 3 mm ব্যাসার্ধ-বিশিষ্ট এবং একই আধান সম্বলিত 27টি জলকণা মিশে একটি বড় ফোঁটায় পরিণত হ'ল। উভয়ের তলমাত্রিক ঘনত্বের তুলনা কর।

একই ধরনের জলের ফোঁটাগুলির ব্যাসার্ধ = 3 mm = 0·3 cm এবং প্রতিটি জলের ফোঁটার উপর 6 e. s. u. আধান আছে।

এখন আমরা জানি, আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব $\sigma = \frac{q}{4\pi r^2}$

∴ প্রতিটি জলের ফোঁটার আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব $\sigma_1 = \frac{6}{4\pi(0{\cdot}3)^2} = \frac{600}{36\pi}$.

এখন মোট 27টি জলের ফোঁটা মিলিত হয়ে যে বড় জলের ফোঁটা তৈরী করে, তার ব্যাসার্ধ যদি R cm হয় তবে,

$$\tfrac{4}{3}\pi R^3 = 27 \times \tfrac{4}{3}\pi(0{\cdot}3)^3$$

$$\therefore \quad R = 0{\cdot}9 \text{ cm}$$

এবং একই বড় জলের ফোঁটার উপর মোট আধান = 27 × 6 e. s. u.

∴ বড় জলের ফোঁটার আধানের তলমাত্রিক ঘনত্ব

$$\sigma_2 = \frac{27 \times 6}{4\pi(0{\cdot}9)^2} = \frac{6 \times 2700}{4 \times 81 \times \pi}$$

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{6 \times 2700}{4 \times 81 \times \pi} \times \frac{36\pi}{600} = 3.$$

## ● চল তড়িৎ-বিজ্ঞান ●

1. দুইটি তারের দৈর্ঘ্য, ব্যাস এবং রোধাঙ্কের প্রত্যেকটির অনুপাত 1 : 3; অপেক্ষাকৃত সরু তারের রোধ 20 Ω হইলে অপরটির রোধ বাহির কর। [J.E.E. 1982]

মনে করিলাম, সরু তারের দৈর্ঘ্য, ব্যাসার্ধ ও রোধাঙ্ক যথাক্রমে $l_1$, $r_1$, এবং $\rho_1$; আর, মোটা তারের দৈর্ঘ্য, ব্যাসার্ধ ও রোধাঙ্ক যথাক্রমে $l_2$, $r_2$ এবং $\rho_2$।

সরু তারের ক্ষেত্রে $\quad R_1 = \rho_1 \frac{l_1}{\pi r_1^2}$,

মোটা তারের ক্ষেত্রে $\quad R_2 = \rho_2 \frac{l_2}{\pi r_2^2}$.

1:2

10

প্রশ্নানুসারে, $\frac{R_1}{R_2}=\frac{\rho_1}{\rho_2}\times\frac{l_1}{l_2}\times\left(\frac{r_2}{r_1}\right)^2$

$$=\frac{1}{3}\times\frac{1}{3}\times\left(\frac{3}{1}\right)^2=\frac{9}{9}$$

বা, $R_1=R_2$

অতএব, মোটা তারের রোধ $=20\ \Omega$.

2. $2\Omega$ রোধ-বিশিষ্ট একটি অ্যামমিটার 100 m.A. পর্যন্ত প্রবাহ পাঠ করিতে পারে। ইহাকে কিভাবে ভোল্টমিটারে রূপান্তরিত করিবে, যাহা 200 Volt পর্যন্ত পাঠ করিবে? [J.E.E. 1982]

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে,

অ্যামমিটারের সহিত একটি উচ্চ মানের রোধ শ্রেণী-সমবারে যুক্ত করিতে হইবে। মনে করিলাম, নির্ণেয় রোধ $=R_1$

অতএব $\quad i=\frac{E}{R+r}$

বা, $\quad 100\times10^{-3}=\frac{200}{R+2}$

বা, $\quad \cdot1=\frac{200}{R+2}$

বা, $\quad \cdot1R+\cdot2=200$

বা, $\quad \cdot1R=200-\cdot2=199\cdot8$

$$R=\frac{199\cdot8}{\cdot1}=1998\ \Omega.$$

3. একটি প্রদত্ত রোধের মধ্য দিয়া সর্বাধিক প্রবাহ পাঠাইবার জন্য 90টি একই ধরনের কোষকে মিশ্র সমবায়ে সজ্জিত করা হইল। প্রতিটি কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ প্রদত্ত রোধের $\frac{1}{10}$ ভাগ হইলে কোষগুলিকে কিভাবে সাজাইবে? [J.E.E. 1982]

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে,

সর্বোচ্চ প্রবাহ পাইতে গেলে $R=\frac{nr}{m}$ ;

এখন $r=\frac{R}{10}$. $\quad\therefore\ R=\frac{n}{m}\times\frac{R}{10}\quad$ বা, $\frac{n}{m}=10$

আবার, $n\times m=90$

বা, $n\times\frac{n}{10}=90$

বা, $n^2=900$

বা, $n=30$

অতএব, $\quad n=30$ ; $m=3$.

অর্থাৎ তিনটি সারি সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করিতে হইবে এবং প্রত্যেক সারিতে 30টি কোষ শ্রেণী-সমবায়ে লাগাইতে হইবে।

4. একটি বাড়ীতে 3টি 60w, 2টি 100w এর বাতি এবং 3টি 40w এর পাখা আছে। 200 Volt সরবরাহ দ্বারা সব কয়টিকে যুগপৎ চালানো হইলে মেইন হইতে যে প্রবাহ টানা হয়, তাহার মান নির্ণয় কর। দৈনিক প্রতি বাতি যদি 5 ঘণ্টা এবং প্রতিটি পাখা 15 ঘণ্টা চলে, তাহা হইলে মাসিক খরচ কত হইবে? 1 মাস = 30 দিন এবং 1 B.O.T. এর খরচ = 50 পয়সা। [J.E.E. 1982]

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে,

মোট ওয়াট $= 3 \times 60 + 2 \times 100 + 3 \times 40$

$= 180 + 200 + 120 = 500$ watt.

আমরা জানি যে, ওয়াট = ভোল্ট × অ্যাম্পিয়ার

সুতরাং, তড়িৎ প্রবাহ $= \frac{500}{200} = 2.5$ অ্যাম্পিয়ার।

দৈনিক বাতি এবং পাখা কর্তৃক ব্যয়িত তড়িৎ শক্তির পরিমাণ

$= [3 \times 60 + 2 \times 100] \times 5 + 3 \times 40 \times 15$

$= [180 + 200] \times 5 + 120 \times 15$

$= 380 \times 5 + 120 \times 15$

$= 1900 + 1800 = 3700$ watt-hour.

∴ 30 দিনের মাসে বাতি এবং পাখা কর্তৃক ব্যয়িত তড়িৎ শক্তি

$= 3700 \times 30 = 111000$ watt-hour

$= \frac{111000}{1000}$ K. W. H.

$= 111$ K. W. H.

অতএব, নির্ণেয় খরচ $= 111 \times 50$ paise = Rs. 55·50.

5. একটি জল-ভোল্টামিটার এবং একটি তামার ভোল্টামিটারকে একটি বর্তনীতে শ্রেণী সমবায়ে রাখিয়া বর্তনীর মধ্যে $10^4$ কুলম্ব আধান পাঠানো হইল। কতটা হাইড্রোজেন মুক্ত হইবে এবং কতটা তামা জমা হইবে? হাইড্রোজেনের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক $= 1.05 \times 10^{-5}$ gm/Coulomb; তামার পারমাণবিক ভর = 63·6; তামার যোজ্যতা = 2; হাইড্রোজেনের রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক = 1·008. [J. E. E. 1982]

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে, মুক্ত হাইড্রোজেনের পরিমাণ

= হাইড্রোজেনের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক × আধান

$= 1.05 \times 10^{-5} \times 10^4 = 1.05 \times 10^{-1} = .105$ gm.

তামার রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক

$= \frac{\text{পারমাণবিক ওজন}}{\text{যোজ্যতা}} = \frac{63.6}{2} = 31.8.$

সুতরাং, তামার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক = তামার রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক × হাইড্রোজেনের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক $= 31{\cdot}8 \times 1{\cdot}05 \times 10^{-5}$

অতএব, মুক্ত তামার পরিমাণ = তামার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক × আধান

$= 31{\cdot}8 \times 1{\cdot}05 \times 10^{-5} \times 10^4$

$= 3{\cdot}34$ gm.

6. প্রতিটি 10 Ω রোধের পাঁচটি বাতি সমান্তরালভাবে যুক্ত করা হইল। এই সমন্বয়ের মধ্য দিয়া একটি ব্যাটারীর সাহায্যে ·2 Ω রোধের অ্যামমিটারের মধ্য দিয়া বিদ্যুৎ প্রবাহ চালু করা হইল। ব্যাটারীটি 20 ভোল্টের এবং ·3 Ω অভ্যন্তরীণ রোধের অ্যামমিটার কি বিদ্যুৎ প্রবাহ দেখাইবে ? প্রতিটি বাতির ভিতর দিয়া কি বিদ্যুৎ প্রবাহ যাইবে ? [J.E.E. 1981]

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে, 10 Ω রোধের পাঁচটি বাতিকে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করা হইলে তুল্যাঙ্ক রোধ

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{10} + \frac{1}{10} + \frac{1}{10} + \frac{1}{10} + \frac{1}{10} = \frac{5}{10}$$

বা, $R = \frac{10}{5} = 2\Omega.$

তড়িৎ-বর্তনীর মোট রোধ $= 2 + {\cdot}2 + {\cdot}3 = 2{\cdot}5\Omega$

সুতরাং, উক্ত বর্তনীর মূল প্রবাহ

$$i = \frac{20}{2{\cdot}5} = 8 \text{ ampere.}$$

অতএব, অ্যামমিটারে 8 ampere তড়িৎ প্রবাহ দেখাইবে।

সুতরাং, প্রতিটি বাতিতে তড়িৎ প্রবাহ $= \frac{8}{5} = 1{\cdot}6$ ampere.

7. 10 Volt তড়িৎ-চালক বলযুক্ত একটি ব্যাটারীর সহিত একটি বাতি যুক্ত করা হইলে তড়িৎ প্রবাহের মান ·01 Ampere পাওয়া যায়। যখন উক্ত বাতিটিকে 220 Volt মেইন-এর সহিত যুক্ত করা হয়, তখন স্থির প্রবাহ ·05 Ampere পরিলক্ষিত হয়। Ohm সূত্রের প্রয়োগে এই আপাত গরমিলের কারণ ব্যাখ্যা কর। [J. E. E. 1980]

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে,

মনে করিলাম, বাতির রোধ = R Ohm. Ohm সূত্রের প্রয়োগে আমরা পাই, $R = \frac{V}{I} = \frac{10}{{\cdot}01} = 1000\ \Omega$. 1000 Ω রোধের এই বাতিটি 220 Volt মেইনস্-এর সহিত যুক্ত করা হইলে তড়িৎ-প্রবাহ $I = \frac{V}{R} = \frac{220}{1000} = {\cdot}22$ Ampere. কিন্তু স্থির প্রবাহ ·05 Ampere পাওয়া গেল। এই গরমিলের কারণ হইল যে, ·22 Ampere এর তড়িৎ প্রবাহ গেলে বাতির filament যথেষ্ট পরিমাণ তাপ উৎপন্ন করে এবং তাপমাত্রার বৃদ্ধির জন্য বাতির filament-এর রোধ বৃদ্ধি পায়।

কারণ $R_t = R_0\ (H\ a\ t)$,

যখন তাপমাত্রা স্থির মানের হয়, তখন ফিলামেন্ট একটি উচ্চ রোধ প্রাপ্ত হয়। ফলে, ·05 Ampere-এর কাছাকাছি স্থির মান পাইয়া থাকে।

8. একটি ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারকে বর্তনীতে যুক্ত করা হইলে মোট রোধ দাঁড়ায় 100 Ohm এবং ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপণ হয় 60°। বিক্ষেপণকে হ্রাস করিয়া 30°তে আনিতে হইলে কত মানের সান্ট ব্যবহার করিতে হইবে? (ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারের রোধ = 10Ω) [J. E. E. 1980]

মনে করিলাম, বর্তনীর তড়িৎ-চালক বল = E

প্রথম ক্ষেত্রে $i=\frac{E}{100}=10\,K\tan\theta$

$$=10\,K\tan 60°=10\,K\sqrt{3}.$$

সুতরাং, $$10\,K=\frac{E}{100\sqrt{3}} \qquad (i)$$

বিক্ষেপণ হ্রাস করিয়া 30°-তে আনিতে হইলে প্রয়োজনীয় সান্ট = S.

অতএব, বর্তনীর মোট রোধ

$$=(100-10)+\frac{10\times S}{10+S}$$

$$\therefore\; i=\frac{E}{90+\frac{10\times S}{10+S}}=\frac{E(10+S)}{900+100S}$$

সুতরাং, গ্যালভানোমিটার প্রবাহ

$$ig=\frac{S}{S+10}\times i$$

$$=\frac{S}{S+10}\times\frac{E(10+S)}{900+100S}=\frac{E.\,S}{900+100S}.$$

সুতরাং, $$\frac{E.\,S}{900+100S}=10\,K\tan 30°=10\,K\frac{1}{\sqrt{3}}$$

বা, $$\frac{E.\,S}{900+100S}=\frac{10K}{\sqrt{3}}$$

বা, $$\frac{E.\,S}{900+100S}=\frac{E}{100\sqrt{3}}\times\frac{1}{\sqrt{3}}$$

বা, $$\frac{S}{900+100S}=\frac{1}{300}$$

বা, $$300S=900+100S$$

বা, $$S=4{\cdot}5\ \Omega.$$

9. একটি ড্যানিয়েল কোষের দুইটি প্রান্ত 1Ω রোধের সহিত যুক্ত। উক্ত কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ 4Ω এবং বর্তনীটি 1 ঘণ্টা ধরিয়া বদ্ধ করা হইলে কত পরিমাণ দস্তা দ্রবীভূত হইয়াছিল, তাহা নির্ণয় কর।

দেওয়া আছে

কোষের তড়িৎ-চালক বল = 1·08 volt. দস্তার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাংক = ·00034 gm/coulomb. [J. E. E. 1980]

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে, বর্তনীর তড়িৎপ্রবাহ মাত্রা

$$i = \frac{E}{R} = \frac{1·08}{4+1} = \frac{1·08}{5} \text{ Ampere}$$

ফ্যারাডের তড়িৎ-বিশ্লেষণ সূত্র হইতে আমরা জানি যে, $W = z\,i\,t$

$$= ·00034 \times \frac{1·08}{5} \times 60 \times 60 = ·2746 \text{ gm.}$$

10. একটি প্রেক্ষাগৃহের তড়িৎ প্রতিষ্ঠা করার জন্য 60 ওয়াটের এর 40টি বাতি, 200 ওয়াটের 61টি বাতি, 40 ওয়াটের 8টি বাতি এবং 1·5 H. P.-এর 20টি বৈদ্যুতিক পাখা আছে। এখানে কি মানের H. P.-এর ডায়নামো প্রয়োজন নির্ণয় কর। যদি দিনে গড়ে 8 ঘন্টা ঐগুলি ব্যবহার করা হয় এবং এক B.O.T. এর জন্য 25 পয়সা খরচ হয়, তবে এপ্রিল মাসের জন্য খরচ কত পড়িবে, তাহা নির্ণয় কর। [J E.E. 1979]

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে

60 ওয়াটের 40টি বাতি, 200 ওয়াটের 61টি বাতি, 40 ওয়াটের 8টি বাতি কর্তৃক মোট ব্যয়িত শক্তি

$$= 60 \times 40 + 200 \times 61 + 40 \times 8$$

$$= 2400 + 12200 + 320 = 14920 \text{ watt}$$

$$= \frac{14920}{746} = 20 \text{ H. P.}$$

1·5 H. P. এর 20টি বৈদ্যুতিক পাখা কর্তৃক ব্যয়িত শক্তি = $1·5 \times 20 = 30$ H.P.

সুতরাং, মোট প্রয়োজনীয় H.P. = $20 + 30 = 50$ H.P.

মোট B. O. T. একক $= \frac{50 \times 746 \times 8 \times 30}{1000}$

প্রতি B. O. T. এককের জন্য 25 পয়সা খরচ হইলে

মোট খরচ $= \frac{50 \times 746 \times 8 \times 30 \times 25}{1000 \times 100}$

= 2238 টাকা।

11. একটি কোষ শ্রেণী সমবায়ে 2Ω রোধের একটি ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটার এবং একটি রোধ বাক্সের সহিত যুক্ত আছে। যখন উক্ত রোধ বাক্সে 8Ω রোধ দেওয়া

হইল, তখন গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপণ 60° হইল। আবার, যখন রোধ বাক্সে 30 Ω রোধ দেওয়া হইল, তখন গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপণ 30° পাওয়া গেল। কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ নির্ণয় কর। [J.E.E. 1979]

মনে করিলাম, কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ $= r$ এবং কোষের তাড়িৎচালক বল $= \mathrm{E}_1$

প্রথম ক্ষেত্রে, $\frac{\mathrm{E}}{2+8+r} = 10\,\mathrm{K} \tan 60°$

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে,

$$\frac{\mathrm{E}}{2+30+r} = 10\,\mathrm{K} \tan 30°$$

$$\therefore \quad \frac{\mathrm{E}}{10+r} \times \frac{32+r}{\mathrm{E}} = \frac{10\,\mathrm{K} \tan 60°}{10\,\mathrm{K} \tan 30°}$$

বা, $\frac{32+r}{10+r} = \frac{\sqrt{3}}{\frac{1}{\sqrt{3}}} = \sqrt{3} \times \sqrt{3} = 3$

বা, $32 + r = 30 + 3r$

বা, $2 = 2r$ বা, $r = 1.$

অতএব, কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ $= 1\Omega$

12. একটি বর্তনীতে প্রবাহিত পরিবর্তী তড়িৎপ্রবাহ নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়ঃ

$$i = \frac{\mathrm{E}_0}{\mathrm{Z}} \sin (120\,\pi t - \phi)$$

বিস্তার এবং তড়িৎ প্রবাহের কম্পাঙ্কের মান বাহির কর। [J.E.E. 1979]

একটি পরিবর্তী তড়িৎপ্রবাহকে নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়ঃ

$$i = i_0 \sin (2\pi\, nt - \phi). \quad (1)$$

প্রদত্ত পরিবর্তী তড়িৎপ্রবাহের সমীকরণটি হইলঃ

$$i = \frac{\mathrm{E}_0}{\mathrm{Z}} \sin (120\,\pi t - \phi). \quad (2)$$

(1)নং এবং (2)নং সমীকরণদ্বয় তুলনা করিয়া আমরা পাই,

$$\text{প্রবাহের বিস্তার} = \frac{\mathrm{E}_0}{\mathrm{Z}}.$$

$$\text{এবং কম্পাঙ্ক} = \frac{120}{2} = 60.$$

13. একটি কারখানায় 90 K.W. হারে বৈদ্যুতিক শক্তির প্রয়োজন হয়। ইহা মোট 2·5 Ω রোধ-সম্পন্ন লাইন তারের মধ্য দিয়া কারখানায় প্রেরিত হয়। যদি উৎপন্ন ক্ষমতার শত করা 10 ভাগ এই সরবরাহ বিনষ্ট হয়, তাহা হইলে (ক) প্রেরক লাইনের

প্রবাহ (খ) উৎপাদন কেন্দ্রের বিভব বৈষম্য এবং (গ) লাইন রোধের দরুন বিভব-পতন নির্ণয় কর। [J.E.E. 1986]

মনে করিলাম, লাইনের প্রবাহ = c ampere এবং উৎপাদন-কেন্দ্রে উৎপন্ন ক্ষমতা = P

অতএব প্রশ্নানুসারে,

$$P \times \frac{90}{100} = 90 \quad \text{বা,} \; P = 100 \text{ K.W.}$$

∴ প্রেরক লাইনে অপচিত শক্তির মান

$$= P \times \frac{10}{100} = 100 \times \frac{10}{100} = 10 \text{ K.W.}$$

$$\text{সুতরাং,} \; c^2 R = 10 \text{ K.W.}$$

$$\text{বা,} \quad c^2 = \frac{10 \times 10^3}{2 \cdot 5}$$

$$\text{বা,} \quad c = 20\sqrt{10} = 63{\cdot}26 \text{ Ampere.}$$

অতএব, প্রেরক লাইনের প্রবাহ = 63·26 Ampere.

(ii) উৎপাদন কেন্দ্রের বিভব-বৈষম্য

$$Vc = 100 \times 10^3$$

$$\text{বা,} \quad V = \frac{100 \times 10^3}{63 \cdot 26} = 1581 \text{ Volt.}$$

(iii) প্রেরক লাইনে বিভব-পতন = লাইন রোধ × প্রবাহমাত্রা

$$= 2{\cdot}5 \times 63{\cdot}26 = 158{\cdot}13 \text{ Volt.}$$

14. একটি বায়ুশূন্য flask এর মধ্যে 3 kg. paraffin তেল রাখিয়া উহাতে immersion heater হইতে 12·3 watt শক্তি চালনা করিলে মিনিটে তাপমাত্রা 1°C বৃদ্ধি পায়। সেই পাত্রেই 4 kg. paraffin তেল লইয়া 19·2 watt শক্তি চালনা করিলে মিনিটে তাপমাত্রা 1·2°C বৃদ্ধি পায়। উপরোক্ত দেয় শর্তগুলি হইতে তেলের Sp. heat capacity এবং flask-এর thermal capacity কত, তা নির্ণয় কর। [J. E. E. 1985]

মনে করিলাম, paraffin তেলের আপেক্ষিক তাপ = s এবং flask-এর তাপ-ধারকত্ব = W.

প্রথম ক্ষেত্রে মিনিটে প্রদত্ত শক্তি = 12·3 × 60 = 738 Joules

অতএব, তেল এবং ফ্লাস্ক কর্তৃক গৃহীত তাপ = 300 × s × 1 + W × 1

$$\therefore \quad W + 300s = \frac{738}{4 \cdot 2} \quad \cdots \quad \text{(i)}$$

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে মিনিটে প্রদত্ত শক্তি

$$= 19{\cdot}2 \times 60 = 1152 \text{ Joules.}$$

তেল এবং ফ্লাস্ক কর্তৃক গৃহীত তাপ

$$=400\times s\times 1\cdot 2+w\times 1\cdot 2=1\cdot 2w+480s$$

$$\therefore \quad 1\cdot 2w+480s=\frac{1152}{4\cdot 2} \quad \cdots \quad \text{(ii)}$$

(i) নং এবং (ii) নং সমীকরণ হইতে আমরা পাই,

$$w\times 4\cdot 2+300\times 4\cdot 2s=738 \quad \cdots \quad \text{(iii)}$$

$$w\times 4\cdot 2\times 1\cdot 2+480\times 4\cdot 2s=1152 \quad \cdots \quad \text{(iv)}$$

(iii) নং সমীকরণকে 1·2 দ্বারা গুণ করিয়া আমরা পাই,

$$w\times 4\cdot 2\times 1\cdot 2+300\times 4\cdot 2\times 1\cdot 2s=738\times 1\cdot 2$$

বা, $5\cdot 04w+1512s=885\cdot 6 \quad \cdots \quad \text{(v)}$

(iv) নং সমীকরণ হইতে আমরা পাই,

$$5\cdot 04w+2016s=1152 \quad \cdots \quad \text{(vi)}$$

অতএব $5\cdot 04w+2016s=1152$

$5\cdot 04w+1512s=885\cdot 6$

বিয়োগ করিয়া $504s=266\cdot 4$

$$s=\frac{266\cdot 4}{504}=\cdot 5286.$$

(vi) নং সমীকরণ হইতে আমরা পাই,

$$5\cdot 04w+2016\times \cdot 5286=1152$$

বা, $5\cdot 04w=1152-1065\cdot 658$

বা, $5\cdot 04w=86\cdot 342$

$$w=\frac{86\cdot 342}{5\cdot 04}=17\cdot 13.$$

অতএব, paraffin তেলের আপেক্ষিক তাপ = ·5286 এবং ফ্লাস্কের ধারকত্ব = 17·13 calories.

15. একটি পরিবর্তী প্রবাহ বর্তনীতে E এবং I নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়।

$E=100\sin(100t)$ volt.

$I=100\sin(100t+\pi/3)$ milli-ampere.

বর্তনীতে ব্যয়িত ক্ষমতার মান নির্ণয় কর।

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে,

তাড়িৎ চালক বলের শীর্ষমাণ = 100 volt.

তাড়িৎ প্রবাহের শীর্ষমাণ = 100 milli-ampere.

দশাকোণ $\phi=\pi/3$ $=100\times 10^{-3}$ ampere.

$\therefore$ ব্যয়িত ক্ষমতা $= \frac{E_0}{\sqrt{2}} \cdot \frac{I_0}{\sqrt{2}} \cdot \cos\phi$

$$= \frac{100 \times 100 \times 10^{-3}}{2} \times \cos \pi/3 = 2{\cdot}5 \text{ watt.}$$

16. দুইটি রোধকের রোধের মান যথাক্রমে $R_1$ এবং $R_2$। ইহাদিগকে শূন্যমানের অভ্যন্তরীণ রোধ যুক্ত একটি ব্যাটারীর সহিত শ্রেণী বা সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করা যায়। সমান্তরাল সমবায়ে জুলের তাপ-উৎপাদন শ্রেণী সমবায়ের 5 গুণ এবং $R_1$-এর মান 100 Ω হইলে $R_2$-এর মান কত? [ MNRC, 1978 ]

মনে করিলাম, ব্যাটারীর তড়িৎচালক বল = E এবং প্রতি সেকেণ্ডে জুলের তাপ-উৎপাদনের পরিমাণ = $W_1$

$\therefore$ প্রতি সেকেণ্ডে জুলের তাপ-উৎপাদনের পরিমাণ $W = \frac{E^2}{R}$.

শ্রেণী সমবায়ের ক্ষেত্রে $R = R_1 + R_2$.

সমান্তরাল সমবায়ে ক্ষেত্রে

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad \text{বা,} \quad R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

অতএব, শ্রেণী সমবায়ের ক্ষেত্রে প্রতি সেকেণ্ডে জুলের তাপের উৎপাদন

$$W_1 = \frac{E^2}{R_1 + R_2}$$

এবং সমান্তরাল সমবায়ের ক্ষেত্রে প্রতি সেকেণ্ডে জুলের তাপের উৎপাদন

$$W_2 = \frac{E^2(R_1 + R_2)}{R_1 R_2}.$$

শর্তানুসারে, $W_2 = 5W_1$

অতএব, $\frac{E^2(R_1 + R_2)}{R_1 R_2} = 5 \frac{E^2}{R_1 + R_2}$

বা, $(R_1 + R_2)^2 = 5R_1R_2$

বা, $R_1^2 + 2R_1R_2 + R_2^2 - 5R_1R_2 = 0$

বা, $R_1^2 - 3R_1R_2 + R_2^2 = 0$

বা, $(100)^2 - 3 \times 100R_2 + R_2^2 = 0$

বা, $R_2^2 - 300R_2 + (100)^2 = 0$

বা, $R_2 = \frac{300 \pm \sqrt{(300)^2 - 4 \times (100)^2}}{2}$

$= 150 \pm 50\sqrt{5} = 262$ ohm বা 38 ohm.

17. দুইটি তড়িৎ কোষের একই তড়িৎ-চালক বল কিন্তু অভ্যন্তরীণ রোধ যথাক্রমে $r_1$ এবং $r_2$; উহাদের রোধক R-এর সহিত শ্রেণী সমবায়ে যুক্ত করা হইল।

$r_1$ এবং $r_2$ এর সাহায্যে প্রকাশিত R-এর কত মানের জন্য প্রথম কোষের উপর বিভব-পার্থক্য শূন্য হইবে? [ J. E. E. 1984 ]

মনে করিলাম, প্রতি কোষের তড়িৎচালক বল = E। অতএব, দুইটি তড়িৎ কোষের মোট তড়িৎচালক বল = 2E এবং বর্তনীর মোট রোধ = $r_1 + r_2 + R$।

অতএব, বর্তনীতে প্রবাহমাত্রা

$$C = \frac{2E}{r_1 + r_2 + R}.$$

প্রশ্নানুসারে, প্রথম কোষের ক্ষেত্রে অভ্যন্তরীণ বিভব পতন = বর্তনীতে প্রবাহমাত্রা × প্রথম কোষের অভ্যন্তরীণ রোধ = $C \times r_1$

$$= \frac{2E}{r_1 + r_2 + R} \times r_1.$$

$$\therefore \quad V_1 = E - Cr_1 = E - \frac{2Er_1}{r_1 + r_2 + R} = E\left[1 - \frac{2r_1}{r_1 + r_2 + R}\right]$$

কিন্তু $V_1 = 0$

$$\therefore \quad 1 - \frac{2r_1}{r_1 + r_2 + R} = 0. \quad \text{বা,} \quad \frac{2r_1}{r_1 + r_2 + R} = 0. \quad \text{বা,} \quad R = r_1 - r_2.$$

18. একটি ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারের কুণ্ডলীর পাকসংখ্যা 10 এবং ব্যাসার্ধ 5 cm। ইহাকে একটি তামা-ভোল্টামিটারের সহিত যুক্ত করা হইল। গ্যালভানোমিটারের বিক্ষেপণ = 45°, H = ·36 oersted হইলে 30 মিনিটে কত তামা জমা হইবে? হাইড্রোজেনের তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক = ·00001045 gm/Coulomb ; তামার পারমাণবিক ওজন = 63·6. [ Bihar J. E. E. 1984 ]

ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটার হইতে আমরা জানি যে,

$$C = 10K \tan\theta$$

$$= 10 \times \frac{aH}{2\pi n} \tan\theta.$$

যেখানে $C \rightarrow$ তড়িৎ প্রবাহ ; $a \rightarrow$ কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধ ; $H \rightarrow$ ক্ষেত্র-প্রাবল্য ;
$n \rightarrow$ কুণ্ডলীর পাকসংখ্যা ; $\theta \rightarrow$ বিক্ষেপণ।

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে,

$$i = \frac{10 \times 5 \times \cdot 36}{2 \times 3\cdot 14 \times 10} \tan 45° = \frac{\cdot 9}{3\cdot 14} \text{ ampere.}$$

তামার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক

$$z = \cdot 00001045 \times \frac{63\cdot 6}{2}$$

$$= 31\cdot 8 \times 1045 \times 10^{-8} \text{ gm/Coulomb.}$$

ফ্যারাডের তড়িৎ-বিশ্লেষণ সূত্র হইতে আমরা পাই, $w = zct$

$$= 31{\cdot}8 \times 1045 \times 10^{-8} \times \frac{\cdot 9}{3{\cdot}14} \times 60 \times 30 = \cdot 17 \text{ gm}$$

অতএব, সঞ্চিত তামার ওজন $w = \cdot 17$ gm.

19. একটি অ্যালুমিনিয়াম এবং একটি তামার তারের দৈর্ঘ্য সমান এবং উহাদের রোধও সমান। উহাদের ওজনের অনুপাত কত? তামার রোধাঙ্ক 1·6 micro-ohm-cm এবং অ্যালুমিনিয়ামের 3·2 micro-ohm-cm ; তামার ঘনত্ব = 9 gm/c.c. এবং অ্যালুমিনিয়ামের ঘনত্ব 2·7 gm/c.c. [ E. A. T. 1964 ]

মনে করিলাম, অ্যালুমিনিয়াম তারের প্রস্থচ্ছেদ = $A_1$, রোধাঙ্ক = $\rho_1$ এবং তামার তারের প্রস্থচ্ছেদ = $A_2$, রোধাঙ্ক = $\rho_2$। উভয় তারের দৈর্ঘ্য = $l$ এবং রোধ = R

$$\therefore \quad \rho_1 = \frac{RA_1}{l} \quad \text{এবং} \quad \rho_2 = \frac{RA_2}{l}$$

$$\therefore \quad \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{RA_1}{l} \Big/ \frac{RA_2}{l} = \frac{A_1}{A_2}.$$

মনে করিলাম, অ্যালুমিনিয়ামের ঘনত্ব = $d_1$ এবং তামার ঘনত্ব = $d_2$। অ্যালুমিনিয়ামের ওজন = $w_1$ এবং তামার ওজন = $w_2$।

সুতরাং, $$\frac{w_1}{w_2} = \frac{A_1 l d_1}{A_2 l d_2} = \frac{A_1 d_1}{A_2 d_2} = \frac{\rho_1 d_1}{\rho_2 d_2} = \frac{2{\cdot}7 \times 3{\cdot}2}{9 \times 1{\cdot}6}.$$

20. তিনটি রোধ-কে যুক্ত করিয়া ABC ত্রিভুজ গঠন করা হইল। AB বাহুর রোধ 40 Ω, BC বাহুর রোধ 60 Ω এবং CA বাহুর রোধ 100 Ω। A এবং B এর মধ্যে তুল্যাঙ্ক রোধ নির্ণয় কর।

[I. I. T. 1975, H.S. 1986]

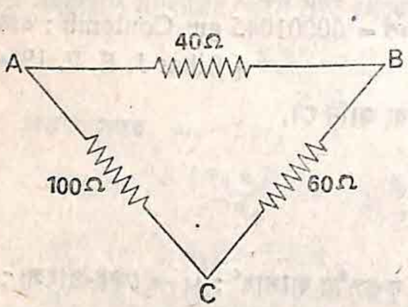


Fig. 21

চিত্রানুসারে, (Fig. 21) A এবং B প্রান্তের জন্য 40Ω এবং (100 + 60) বা 160 Ω রোধ-দুইটি সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত আছে।

অতএব, A এবং B প্রান্তের মধ্যে তুল্যাঙ্ক রোধ

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{40} + \frac{1}{160} = \frac{4+1}{160} = \frac{5}{160}$$

$$\text{বা,} \quad R = \frac{160}{5} = 32\Omega.$$

21. 3Ω এবং 2Ω রোধের দুইটি রোধককে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করা হইল। এই সমবায়কে শ্রেণী সমবায়ে 4Ω রোধের একটি তারের সহিত যুক্ত করা হইল। যখন একটি ব্যাটারীর সাহায্যে বর্তনীটি সম্পূর্ণ করা হইল, তখন মূল

প্রবাহের মান ·5 ampere পাওয়া গেল। তড়িৎ-চালক বল এবং ব্যাটারীর প্রান্তীয় বিভবের মান বাহির কর। ব্যাটারীর অভ্যন্তরীণ রোধ = ·8 ohm. 3Ω রোধের মধ্য দিয়া প্রবাহিত তড়িৎ প্রবাহের মান বাহির কর। [Aligarh]

2Ω এবং 3Ω রোধককে সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত করা হইলে তুল্যাঙ্ক রোধ

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{2} + \frac{1}{3} = \frac{5}{6} \qquad \therefore \quad R = \frac{6}{5}\ \Omega.$$

অতএব, বহিবর্তনীর মোট রোধ

$$= 4 + \frac{6}{5} = \frac{26}{5}\Omega$$

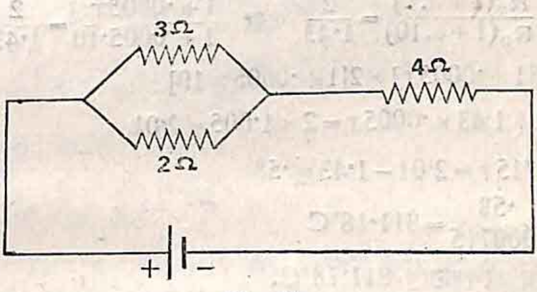



Fig. 22

যেহেতু মূল প্রবাহ = ·5 ampere

সুতরাং, ব্যাটারীর প্রান্তীয় বিভব

$$= \cdot 5 \times \frac{26}{5} = 2\cdot 6 \text{ volt.}$$

তিনবার ব্যাটারীর অভ্যন্তরীণ রোধ ·8Ω হইলে সম্পূর্ণ বর্তনীর মোট রোধ

$$= \frac{26}{5} + \cdot 8 = 6\Omega.$$

সুতরাং, ওহম সূত্রের সাহায্যে আমরা পাই,

ব্যাটারীর তড়িৎ-চালক বল $E = \cdot 5 \times 6 = 3$ volt.

অতএব, 3Ω রোধের মধ্য দিয়া প্রবাহিত তড়িৎ প্রবাহ $I_3 = \cdot 5 \times \frac{6}{5} \times \frac{1}{3} = \cdot 2$ ampere.

22. একটি বৈদ্যুতিক চুল্লীকে জ্বালাইতে প্রথমে সুইচ দেওয়া হইলে 2 K.W. তড়িৎশক্তি ব্যয়িত হয়। যখন স্থির অবস্থায় আসে, তখন 1·43 K.W. তড়িৎশক্তি ব্যয়িত হয়। যদি তাপীয় উপাদানের স্থির তাপমাত্রা-গুণাঙ্ক = ·0005, হয়, তবে গৃহের 10°C তাপমাত্রায় চুল্লীর তাপমাত্রা কত হইবে? [ Aligarh E. E. ]

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে,

প্রথম ক্ষেত্রে ব্যয়িত শক্তি $= \frac{V^2}{R_{10}} = 2 \times 1000$ (1)

যেখানে $R_{10} = 10°C$ তাপমাত্রার রোধ।

দ্বিতীয় ক্ষেত্রে ব্যয়িত শক্তি $= \frac{V^2}{R_T} = 1{\cdot}43 \times 1000$ (2)

যেখানে $R_T$ = T°C তাপমাত্রার রোধ।

অতএব (1) নং এবং (2) নং সমীকরণ হইতে আমরা পাই,

$$\frac{R_T}{R_{10}} = \frac{2}{1{\cdot}43} \quad (3)$$

আমরা জানি যে,

$$R_T = R_0(1 + \alpha.T) \text{ এবং } R_{10} = R_0(1 + \alpha.10)$$

সুতরাং, $\frac{R_0(1+\alpha.T)}{R_0(1+\alpha.10)} = \frac{2}{1{\cdot}43}$ এবং $\frac{1 + {\cdot}0005T}{1 + {\cdot}0005{\cdot}10} = \frac{2}{1{\cdot}43}$

বা, $1{\cdot}43[1 + {\cdot}0005T] = 2[1 + {\cdot}0005 \times 10]$

বা, $1{\cdot}43 + 1{\cdot}43 \times {\cdot}0005T = 2 \times 1{\cdot}005 = 2{\cdot}01$

বা, ${\cdot}000715T = 2{\cdot}01 - 1{\cdot}43 = {\cdot}58$

বা, $T = \frac{{\cdot}58}{{\cdot}000715} = 811{\cdot}18°C$

∴ নির্ণেয় তাপমাত্রা = 811·18°C.

23. 200 volt মেইন-এর সহিত 20Ω রোধ-বিশিষ্ট একটি হিটারের সাহায্যে একটি ঘরের উষ্ণতাকে 20°C-এ স্থির রাখা হইল। ঘরের সর্বত্র উষ্ণতা সমান। 1 meter² ক্ষেত্রফল বিশিষ্ট এবং ·2 cm বেধ বিশিষ্ট একটি কাচের জানালার মধ্য দিয়া তাপ বাহির হইতেছে। বাহিরের উষ্ণতা নির্ণয় কর। কাচের তাপ-পরিবাহিতা = ·2 cal $m^{-1}$ °C$^{-1}$ sec$^{-1}$ এবং তাপের তুল্যাঙ্ক = 4·2 Joules/Cal.

[ I. I. T. 1978 ]

হিটার কর্তৃক উৎপন্ন তাপ $= \frac{V^2}{JR}$

$$= \frac{200 \times 200}{4{\cdot}2 \times 20}$$

জানালা দিয়া পরিবাহিত তাপ

$$= \frac{KA(\theta_2 - \theta_1)}{d} = \frac{{\cdot}2 \times 1 \times (\theta_2 - \theta_1)}{{\cdot}002}$$

প্রশ্নানুসারে, পরিবাহিত তাপ = উৎপন্ন তাপ

$$\frac{{\cdot}2 \times 1 \times (\theta_2 - \theta_1)}{{\cdot}002} = \frac{200 \times 200}{4{\cdot}2 \times 20}$$

$$\theta_2 - \theta_1 = \frac{200 \times 200 \times {\cdot}002}{4{\cdot}2 \times 20 \times {\cdot}2 \times 1} = 4{\cdot}8$$

যেহেতু $\theta_2 = 20°C$,

$$\therefore \quad \theta_1 = 20 - 4{\cdot}8 = 15{\cdot}2°C$$

∴ নির্ণেয় তাপমাত্রা = 15·2°C.

24. 20 Ω রোধের একটি চলকুণ্ডলী গ্যালভানোমিটার 20 milli-ammeter পূর্ণ বিক্ষেপ প্রদর্শন করে। (i) ইহাকে 5 ampere পাঠে সক্ষম একটি অ্যামমিটারে (ii) 400 volt পাঠে সক্ষম একটি ভোল্টমিটারে কিভাবে রূপান্তরিত করা যায় ? [ J. E. E. 1978 ]

(i) চলকুণ্ডলী গ্যালভানোমিটারকে অ্যামমিটারে রূপান্তরিত করিতে হইলে ইহার সহিত নিম্নমানের একটি সান্ট সমান্তরালে যুক্ত করিতে হইবে।

আমরা জানি যে, $I_G = \frac{S}{S+G} \times I$

বা, $20 \times 10^{-3} = \frac{S}{S+20} \times 5$

বা, $S + 20 = \frac{S \times 5 \times 10^3}{20}$

বা, $S + 20 = 250\ S$

বা, $S = \frac{20}{249} = \cdot 08 \Omega.$

(ii) চলকুণ্ডলী গ্যালভানোমিটারকে ভোল্টমিটারে রূপান্তরিত করিতে হইলে ইহার সহিত একটি উচ্চমানের রোধ শ্রেণী-সমবায়ে যুক্ত করিতে হইবে।

আমরা জানি যে, $V = (R + G) \times I_G$

$400 = (20 + R) \times 20 \times 10^{-3}.$

বা, $\frac{400 \times 10^3}{20} = 20 + R$

বা, $R + 20 = 20{,}000 \quad \therefore \quad R = 19{,}980\ \Omega.$

25. 2 Ω রোধবিশিষ্ট একটি অ্যামমিটার 100 milli-ampere পর্যন্ত পাঠ প্রদর্শন করিতে পারে। ইহাকে কিভাবে ভোল্টমিটারে রূপান্তরিত করিবে, যাহা 200 volt পর্যন্ত পাঠ দিবে ? [ J. E. E. 1982 ]

অ্যামমিটারকে ভোল্টমিটারে রূপান্তরিত করিতে হইলে অ্যামমিটারকে একটি উচ্চমানের রোধ শ্রেণী-সমবায়ে যুক্ত করিতে হইবে।

আমরা জানি যে,

$V = (R + G)\ I_G$

$200 = (2 + R) \times 100 \times 10^{-3}$

বা, $2 + R = \frac{200 \times 10^3}{100}$

বা, $R = 2000 - 2 = 1998 \Omega.$

26. একটি চলকুণ্ডলী গ্যালভানোমিটারের কুণ্ডলীর রোধ 50 Ω এবং 10 milli-ampere প্রবাহ ইহার পূর্ণ বিক্ষেপ ঘটায়। যন্ত্রটিকে কি উপায়ে (i) 10 ampere

পর্যন্ত প্রবাহ মাপার উপযুক্ত অ্যামমিটার এবং (ii) 100 volt পর্যন্ত বিভব-বৈষম্য মাপার উপযুক্ত ভোল্টমিটারে রূপান্তরিত করা যায় ? [ J. E. E. 1984 ]

(i) চলকুণ্ডলী গ্যালভানোমিটারকে অ্যামমিটারে রূপান্তরিত করিতে হইলে গ্যালভানোমিটারের সহিত একটি নিম্নমানের রোধ সমান্তরালে যুক্ত করিতে হইবে।

আমরা জানি যে,

$$I_G = \frac{S}{S+G} I$$

$$10 \times 10^{-3} = \frac{S}{S+50} \times 10$$

$$S + 50 = S \times \frac{10 \times 10^3}{10}$$

বা, $S = \frac{50}{999} = \cdot 05\ \Omega.$

(ii) চলকুণ্ডলী গ্যালভানোমিটারকে ভোল্টমিটারে রূপান্তরিত করিতে হইলে একটি উচ্চমানের রোধ শ্রেণী-সমবায়ে গ্যালভানোমিটারের সহিত যুক্ত করিতে হইবে।

আমরা জানি যে $V = (R+G) I_G$

$$100 = (R+50) \times 10 \times 10^{-3}$$

বা, $R = 10000 - 50 = 9950\ \Omega.$

27. কোন ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারের (অভ্যন্তরীণ রোধ $= G$) সঙ্গে $B$ রোধ-বিশিষ্ট একটি ব্যাটারী ও $R$ মানের রোধ শ্রেণীবদ্ধভাবে লাগালে, এর কাঁটার বিক্ষেপ $\alpha$ হয়। $R$-এর বদলে অন্য একটি রোধ লাগালে, বিক্ষেপ $\beta$ হয়। প্রমাণ কর যে, দ্বিতীয় রোধের মান $= (\tan \alpha / \tan \beta)(R+B+G) - (B+G)$.

ট্যানজেন্ট গ্যালভানোমিটারের সূত্রানুযায়ী,

$$C = 10K \tan \theta \qquad (1)$$

আবার, $C = \frac{E}{R}$ (ওহমের সূত্র) (2)

অতএব, $E = 10K.R \tan \theta$ [(1) ও (2) থেকে] (3)

ধরা যাক, ব্যাটারীর তড়িচ্চালক বল $= E$, ব্যাটারী, গ্যালভানোমিটার ও রোধ শ্রেণীবদ্ধভাবে আছে ব'লে, মোট তুল্যাঙ্ক রোধ $= R+B+G$.

অতএব, (3) থেকে, $E = 10K(R+B+G) \tan \alpha$ (4)

দ্বিতীয় রোধের মান $x$ হলে, ঐ সূত্র অনুযায়ী,

$$E = 10K(x+B+G) \tan \beta \qquad (5)$$

(4) ও (3) থেকে, $10K(x+B+G) \tan \beta = 10K(R+B+G) \tan \alpha$

বা, $x + B + G = (R+B+G)(\tan \alpha / \tan \beta)$

বা, $x = (\tan \alpha / \tan \beta)(R+B+G) - (B+G)$. (প্রমাণিত)

28. একটি ইস্পাতের তারের ব্যাস 1 cm ; এর উপরে সমভাবে তামার প্রলেপ লাগালে, ইস্পাতের তারটির রোধ কমে পূর্বমানের 1/3 হয়। তামার প্রলেপের বেধ নির্ণয় কর। দেওয়া আছে—তামার আপেক্ষিক রোধ $= 1.8 \times 10^{-6}$ ohm-cm এবং ইস্পাতের আপেক্ষিক রোধ $= 1.98 \times 10^{-5}$ ohm-cm.

ইস্পাতের তারের উপর সমভাবে তামার প্রলেপ লাগানোর অর্থ এই যে, ইস্পাতের রোধ ও তামার রোধ সমান্তরাল সমবায়ে আছে। যদি ইস্পাতের রোধ এবং প্রলেপের রোধ $x$ হয়, তবে শর্তানুযায়ী,

$$\frac{1}{R} + \frac{1}{x} = \frac{1}{R/3} \text{ বা, } \frac{1}{R} + \frac{1}{x} = \frac{3}{R} \text{ বা, } \frac{1}{x} = \frac{2}{R} \text{ বা, } x = \frac{R}{2}$$

আবার, $R = \rho\frac{l}{A} = \rho \times \frac{l}{\pi r^2}$ ব'লে, ইস্পাতের ক্ষেত্রে,

$$R = 1.98 \times 10^{-5} \times \frac{1}{\pi(0.5)^2}.$$

তামার প্রলেপের বেধ $d$, এর ক্ষেত্রফল = পরিধি × বেধ $= 2\pi r \times d = 2\pi\,(0.5)d$

$$\therefore \quad x = 1.8 \times 10^{-6} \times \frac{1}{2\pi(0.5)\,d}$$

$$\text{(1) থেকে, } 1.8 \times 10^{-6} \times \frac{1}{2\pi\,(0.5)\,d} = \tfrac{1}{2} \times 1.98 \times 10^{-5} \times \frac{1}{\pi(0.5)^2}$$

$$\text{বা, } \quad d = \frac{1.8 \times 0.5}{1.98 \times 10} = 0.045 \text{ cm (প্রায়)।}$$

29. 20°C উষ্ণতায় 17 kg ম্যাঙ্গানিন থেকে 1 km দৈর্ঘ্যের ম্যাঙ্গানিন তার প্রস্তুত করা হ'ল। যদি এর রোধ স্থিরীকৃত রোধের 0·176 Ohm এর মধ্যে থাকা আবশ্যক হয়, তবে তারটি ব্যবহারোপযোগী হওয়ার জন্য সর্বোচ্চ এবং ন্যূনতম উষ্ণতা কত হতে হবে ?

$\alpha$ = ম্যাঙ্গানিনের দৈর্ঘ্য-প্রসারণ-গুণাঙ্ক $= 1.8 \times 10^{-5}/°C$.

$\beta$ = ম্যাঙ্গানিনের রোধের উষ্ণতা-গুণাঙ্ক $= 10^{-5}/°C$.

$D_{20}$ = 20°C উষ্ণতায় ম্যাঙ্গানিনের ঘনত্ব $= 8500 \text{ kg m}^{-3}$.

$\rho_{20}$ = 20°C উষ্ণতায় রোধাঙ্ক $= 4.4 \times 10^{-7}$ Ohm-m.

মনে করি, ব্যবহারযোগ্য উষ্ণতা $= \theta$°C.

$$R_{20} = \frac{\rho_{20} l_{20}}{A_{20}} = \frac{\rho_{20} l_{20}^2 D_{20}}{m} \qquad [\text{ যেখানে } m = \text{তারের ভর }]$$

$$= \frac{4.4 \times 10^7 (10^3)^2 \times 8500}{17} = 220 \text{ Ohm.}$$

$$R\theta = \frac{\rho_\theta l_\theta}{A\theta} = \frac{\rho_{20}\{1 + \beta(\theta - 20)\} l_{20}\{1 + \alpha(\theta - 20)\}}{A_{20}\{A + 2\alpha(\theta - 20)\}}$$

$$\simeq R_{20}\{1 + (\theta - 20)(\beta + \alpha - 2\alpha)\}$$

$$\simeq R_{20}\{1 + (\theta - 20)(\beta - \alpha)\}$$

$$\therefore \quad R_\theta - R_{20} = R_{20}(\theta - 20)(\beta - \alpha)$$

যেহেতু রোধ-পরিবর্তন 0·176-এর বেশি হবে না

$\therefore \quad \pm 3{\cdot}176 = 220(\theta - 20)(10^{-5} - 1{\cdot}8 \times 10^{-5})$

বা, $(\theta - 20) = \pm 100°c$

$\therefore \quad \theta_{min} = -80°c$ এবং $\theta_{max} = 120°c$.

30. শ্বেতোত্তাপ অবস্থায় দুটি টাংস্টেন বাতির রোধ যথাক্রমে $R_1$ এবং $R_2$. প্রথমে এই বাতি-দুটিকে সমান্তরাল এবং পরে শ্রেণী-সমবায়ে সামান্য রোধের একটি আলোক-বর্ত্মনীতে যুক্ত করা হ'ল। যদি $R_1 > R_2$ হয়, তাহলে

(i) সমান্তরাল সমবায়ে যুক্ত থাকলে বাতিটি বেশি উজ্জ্বলভাবে জ্বলবে ?

(ii) যদি $R_1$ রোধের বাতিটি জ্বলে যায়, এর উজ্জ্বলতা কিভাবে পরিবর্তিত হবে ?

(iii) শ্রেণী-সমবায়ে যুক্ত থাকলে কোন্ বাতিটি বেশি উজ্জ্বলভাবে জ্বলবে ?

(iv) যদি $R_2$ রোধের বাতিটি জ্বলে যায় এবং কেবল $R_1$ রোধের বাতিটি যুক্ত থাকে, তাহলে উজ্জ্বলতা বাড়বে না কমবে ?

(v) যে-কোন ক্ষেত্রে বর্ত্মনীর বিদ্যুৎ-সরবরাহকারী তার যদি বাঁকিয়ে দেওয়া হয়, তবে উজ্জ্বলতার কোন পরিবর্তন হবে কি ?

(i) স্বাভাবিকভাবে ( অর্থাৎ, সমান্তরালে ) বাতিগুলি যুক্ত করা হলে প্রত্যেকটি বাতির মধ্যে বিভব-প্রভেদ অভিন্ন হয়। উজ্জ্বলতা তড়িৎ-শক্তি-ক্ষয়ের সমানুপাতিক হয় ব'লে

$P_1 = \frac{V^2}{R_1} < \frac{V^2}{R_2} = P_2$ অর্থাৎ $i_2 > i_1$

অর্থাৎ, বাতিটির কম রোধ হওয়ার জন্য বেশী উজ্জ্বল হবে।

(ii) যদি $R_1$ জ্বলে যায়, তবে কেবল $R_2$ রোধে শক্তিক্ষয় হবে। আলোক-বর্ত্মনীতে অভ্যন্তরীণ রোধ কম হওয়ার জন্য বিভব-প্রভেদ V একই থাকে।

$\therefore \quad \frac{V^2}{R_2} < \frac{V^2}{R_1} + \frac{V^2}{R_2}$, এর ফলে সামগ্রিক উজ্জ্বলতা হ্রাস পায়।

(iii) বাতিগুলি শ্রেণী-সমবায়ে যুক্ত হলে প্রতিটি বাতির ক্ষেত্রে বিভব-প্রভেদ ভিন্ন হয়, কিন্তু তড়িৎ-প্রবাহ একই থাকে

$\therefore \quad P_1 = i^2 R_1 > i^2 R_2 = P_2, \quad \therefore \quad i_1 > i_2$

অর্থাৎ, বাতিটির রোধ বেশি হওয়ায় অধিক উজ্জ্বলতায় জ্বলবে।

(iv) যখন কেবল $R_1$ যুক্ত করা হয়, মনে করি, তখন উৎপন্ন ক্ষমতা (শক্তি) হয় $P'$ এবং তড়িৎ-প্রবাহ $i'$, বিভব-প্রভেদ অপরিবর্তিত ( নিম্ন অভ্যন্তরীণ রোধ ) থাকায়

$$i' R_1 = i(R_1 + R_2)$$

$$\therefore \quad P' = i'^2 R_1 = i^2 (R_1 + R_2) \frac{R_1 + R_2}{R_1}$$

এখন $P' = i^2(R_1+R_2)^2/R_1 > i^2(R_1+R_2) = P_1+P_2$

অর্থাৎ, একটি বাল্বের ক্ষেত্রে উজ্জ্বলতা বৃদ্ধি পায়।

(v) নদীর বাঁক বা জলের নলে বাঁকের ফলে জলপ্রবাহ মন্থর হয় ঠিকই, কিন্তু তড়িৎ-প্রবাহের ক্ষেত্রে এই ঘটনা প্রযোজ্য নয়। এর কারণ হ'ল, ইলেকট্রনের গতির ফলে তড়িৎ-প্রবাহ সংঘটিত হয় এবং এগুলি প্রায় ভরহীন। এই কারণে, ইলেকট্রন বেগ বা শক্তির অপচয় না ঘটিয়েই দিক্ পরিবর্তন করতে পারে। অতএব, বর্ত্মনীর তার বাঁকিয়ে দিলেও আলোর উজ্জ্বলতার কোন পরিবর্তন ঘটবে না; কারণ, প্রবাহ-মাত্রা একই থাকে।

31. একটি শ্বেতোত্তাপ-টাংস্টেন বাতিতে 250v – 60w চিহ্নিত করা আছে। যদি ঘরের উষ্ণতায় (27°C) ফিলামেন্টের রোধ 88 Ohm হয়, তবে শ্বেতোত্তাপ-টাংস্টেনের উষ্ণতা নির্ণয় কর। এর সঙ্গে এই উষ্ণতায় ফিলামেণ্টের প্রস্থচ্ছেদ দিয়ে প্রতি মিনিটে প্রবাহিত ইলেকট্রনের সংখ্যাও নির্ণয় কর। দেওয়া আছে—প্রতিটি ইলেকট্রনের আধান $1{\cdot}602\times10^{-19}$ কুলম্ব, টাংস্টেনের রোধের উষ্ণতা-গুণাঙ্ক $45\times10^{-3}/°C$.

(i) $R = \dfrac{V^2}{P} = \dfrac{(240)^2}{60} = 960$ Ohm.

ঘরের উষ্ণতা 27°C ধরলে,

$$960 = 88\{1 + 4{\cdot}5\times10^{-3}(\theta - 27)\}$$

$$\theta - 27 = 2202°C \qquad \text{বা,} \quad \theta = 2229°C$$

(ii) $i = \dfrac{V}{R} = \dfrac{240}{960} = 0{\cdot}25$ Amp.

প্রতি মিনিটে $n$ সংখ্যক ইলেকট্রন প্রবাহিত হলে

$n\times1{\cdot}602\times10^{-19} = 0{\cdot}25\times60$ Coulomb

$\therefore\ n = 9{\cdot}363\times10^{19}$ clectrons.

32. একটি তারের ব্যাস 0·2 mm এবং রোধাঙ্ক $2\times10^{-6}$ Ohm-cm. এই তার দিয়ে 10 cm ব্যাসের 50 পাকের একটি কুণ্ডলীকে উপেক্ষণীয় অভ্যন্তরীণ রোধ এবং 10 v তড়িচ্চালক বল বিশিষ্ট একটি উৎসের সংগে যুক্ত করা হ'ল। (a) কুণ্ডলী দিয়ে প্রবাহিত বৈদ্যুতিক প্রবাহ নির্ণয় কর। (b) কুণ্ডলীর কেন্দ্রে পৃথিবীর চৌম্বক-ক্ষেত্রকে (H = 0·314) নিরসন করতে হলে কুণ্ডলীর দুপ্রান্তে বিভব-প্রভেদ কত হবে? এই ফল পাওয়ার উদ্দেশ্যে কুণ্ডলীটিকে কিভাবে স্থাপন করতে হবে?

(a) কুণ্ডলীর ব্যাস = 10 cm. $\therefore$ কুণ্ডলীর ব্যাসার্ধ = 5 cm.

কুণ্ডলীতে পাক-সংখ্যা = 50.

তারের দৈর্ঘ্য $= n(2\pi R) = 50\times2\pi\times5 = 500\pi$ cm

তারের ব্যাসার্ধ $= r = 0{\cdot}10$ mm $= 0{\cdot}01$ cm.

$\therefore$ তারের প্রস্থচ্ছেদের ক্ষেত্রফল $= \pi r^2 = \pi(0{\cdot}01)^2$ cm²

রোধাঙ্ক $= \rho = 2 \times 10^{-6}$ Ohm-cm

$\therefore$ তারের রোধ $= \rho \frac{l}{A} = \frac{2 \times 10^{-6} \times 5000\pi}{\pi(\cdot 01)^2} = 10$ Ohm.

তারে তড়িৎ-প্রবাহ $= \frac{\text{e.m.f.}}{\text{মোট রোধ}} = \frac{10 \text{ Volt}}{10 \text{ Ohm}} = 1 \cdot 0$ Amp.

(b) $n$ পাকের কুণ্ডলী দিয়ে $i$ e.m.u. বৈদ্যুতিক প্রবাহ গেলে কেন্দ্রে চৌম্বক আবেশ $\vec{B} = \frac{2\pi ni}{R} = \frac{2\pi \times 50 \times i}{5} = 20\pi i$

এখানে, $\vec{B} = \vec{H}$

$$20\pi i = 0 \cdot 314$$

$$\therefore \quad i = \frac{0 \cdot 314}{20\pi} = \frac{1}{200} \text{e.m.u.} = \frac{1}{20} \text{ Amp.}$$

কুণ্ডলীতে বিভব-প্রভেদ = তড়িৎ-প্রবাহ × রোধ $= \frac{1}{20} \times 10 = 0 \cdot 5$ Volt

কুণ্ডলীর তল চৌম্বক মধ্যরেখার অভিলম্বে থাকে।

33. 100 পাকের এককেন্দ্রিক দুটি কুণ্ডলীর একটি উল্লম্ব ও অপরটি আনুভূমিক তলে স্থাপন করা হয়েছে। উল্লম্ব কুণ্ডলীটির ব্যাসার্ধ 20 cm এবং আনুভূমিক কুণ্ডলীটির ব্যাসার্ধ 30 cm ; এদের সাধারণ কেন্দ্রে পৃথিবীর চৌম্বকক্ষেত্রকে কিভাবে নিরসন করা যায়? কুণ্ডলী দিয়ে কি পরিমাণ তড়িৎ-প্রবাহ চালনা করতে হবে? পৃথিবীর চৌম্বকক্ষেত্রের আনুভূমিক উপাংশ $= 0 \cdot 349$ এবং বিনতি কোণ $= 30°$.

প্রশ্নে দেওয়া আছে, $B_H = 0 \cdot 349$ এবং $\theta = 30°$

$\therefore$ পৃথিবীর চৌম্বকক্ষেত্রের উল্লম্ব-উপাংশ

$$V = H \tan \theta = 0 \cdot 349 \times \tan 30° = \frac{0 \cdot 349}{1 \cdot 732} = 0 \cdot 201.$$

উল্লম্ব-কুণ্ডলী দিয়ে তড়িৎ-প্রবাহের জন্য উৎপন্ন চৌম্বকক্ষেত্র কুণ্ডলীর তলের অভিলম্বে হবে। অর্থাৎ, উল্লম্ব-কুণ্ডলী থেকে উৎপন্ন চৌম্বকক্ষেত্রে পৃথিবীর চৌম্বকক্ষেত্রের আনুভূমিক উপাংশকে (H) নিসরন করতে পারে

উল্লম্ব-কুণ্ডলী দিয়ে $i$ প্রবাহ গেলে

$$\frac{2\pi n_1 i_1}{10 r_1} = \vec{H}$$

$$\therefore \quad \frac{2\pi \times 100 \times i_1}{10 \times 20} = 0 \cdot 349$$

$$\text{বা,} \quad i_1 = \frac{0 \cdot 349}{\pi} = 0 \cdot 1110.$$

অনুরূপভাবে, আনুভূমিক কুণ্ডলী থেকে উৎপন্ন চৌম্বকক্ষেত্র হবে অভিলম্বে এবং পৃথিবীর চৌম্বকক্ষেত্রের উল্লম্ব-উপাংশকে (V) নিরসন করতে পারবে।

$$\therefore \quad \frac{2\pi\, n_2 i_2}{10 r_2} = \text{V}$$

$$\text{বা,} \quad \frac{2\pi \times 100 \times i_2}{10 \times 30} = 0{\cdot}201$$

$$\therefore \quad i_2 = \frac{3 \times 0{\cdot}201}{2\pi} = 0{\cdot}097 \text{ Amp.}$$

34. উপেক্ষণীয় রোধ এবং 12 Volt ব্যাটারীর সঙ্গে সমান্তরালভাবে একটি রৌপ্য ও তাম্র ভোল্টামিটার যুক্ত করা হয়েছে। এর ফলে 30 মিনিটে 1·8 gm তামা এবং 1 gm রুপো ক্যাথোডে জমা হয়েছে। ব্যাটারী 30 মিনিটে কি পরিমাণ শক্তি সরবরাহ করবে? রুপোর ও তামার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক যথাক্রমে $11{\cdot}2 \times 10^{-4}$ gm/Coulomb এবং $6{\cdot}6 \times 10^{-4}$ gm/Coulomb.

মনে করি, তামা ও রুপোর ভোল্টামিটারে যথাক্রমে $i_1$ এবং $i_2$ বৈদ্যুতিক প্রবাহ পাঠানো হ'ল। ফ্যারাডের তড়িৎ-বিশ্লেষণের সূত্র থেকে পাই, $\text{W} = z.\, i.\, t.$

তাহলে, জমা তামার ভর $= \text{Z}_{cu} \times i_1 \times t$

$$\therefore \quad 1{\cdot}8 = 6{\cdot}6 \times 10^{-4} \times i_1 \times 30 \times 60$$

$$\text{বা,} \quad i_1 = \frac{1{\cdot}8}{6{\cdot}6 \times 10^{-4} \times 30 \times 60} = \frac{10}{6{\cdot}6} \text{ Amp.}$$

$$\therefore \quad i_1 = 1{\cdot}516 \text{ Amp.}$$

অনুরূপভাবে জমা রুপোর ভর $= \text{Z}_{Ag} \times i_2 \times t$

$$\text{অর্থাৎ,} \; 1{\cdot}0 = 11{\cdot}2 \times 10^{-4} \times i_2 \times 30 \times 60$$

$$\therefore \quad i_2 = \frac{1}{11{\cdot}2 \times 10^{-4} \times 1800} = 0{\cdot}496 \text{ Amp.}$$

$\therefore$ মোট তড়িৎ-প্রবাহ $i = i_1 + i_2 = 1{\cdot}506 + {\cdot}496 = 2{\cdot}012$ Amp.

তাহলে, ব্যাটারী থেকে প্রদত্ত শক্তি $= \text{E}it$

$$= 22 - 2{\cdot}012 \times 1 = 20{\cdot}12 \text{ w.}$$

35. 12 Volt কোষের সাহায্যে 10 sq. cm পাতে উভয় দিকে 0·001 cm পুরু তামার (ঘনত্ব = 9 gm/c.c.) প্রলেপ দিতে হবে। এই তড়িৎ-প্রলেপনের জন্য ব্যাটারী থেকে কত শক্তি ব্যয় হবে নির্ণয় কর। এই শক্তি দিয়ে 100 gm জলকে উত্তপ্ত করলে উষ্ণতা-বৃদ্ধি কত হবে? তামার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক 0·0003 gm/Coulomb.

পাতের দু'দিকে প্রলেপ দিতে হবে ব'লে মোট ক্ষেত্রফল

$= (10 + 10) = 20$ sq. cm.

প্রলেপন বেধ = 0·001 cm

জমা তামার আয়তন $= 20 \times {\cdot}001 = {\cdot}02$ c.c.

জমা তামার ভর $= 0{\cdot}02 \times 9 = 0{\cdot}18$ gm.

ফ্যারাডের তড়িৎ-বিশ্লেষণের প্রথম সূত্র থেকে $M = zq$,

এখানে, $z$ = তামার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক এবং $q$ হ'ল কুলম্বে প্রকাশিত আধানের পরিমাণ।

$$\therefore \quad p=\frac{M}{2}=\frac{0{\cdot}18}{0{\cdot}0003}=600 \text{ Coulomb.}$$

ব্যাটারী থেকে শক্তি-ব্যয়ের পরিমাণ $= Eq = 12 \times 600 = 7200$ J.

যদি সম্পূর্ণ শক্তি তাপে রূপান্তরিত হয়, তবে সমতুল তাপ

$$H=\frac{7200}{4{\cdot}2} \text{ cal.}$$

এবার, $\theta$ যদি জলের উষ্ণতা-বৃদ্ধি হয়, তবে জলকে উত্তপ্ত করতে প্রয়োজনীয় তাপ $= 100 \times 1 \times \theta$

$$\therefore \quad \frac{7200}{4{\cdot}2}=100\,\theta$$

$$\text{বা,} \quad \theta=\frac{72}{4{\cdot}2}=17{\cdot}14^{\circ}\text{C.}$$

36. একটি ভোল্টামিটারে তুঁতের দ্রবণ আছে। 30 মিনিটে 1 gm তামা জমা করিতে কি পরিমাণ বৈদ্যুতিক প্রবাহের প্রয়োজন হবে? রূপোর এবং তামার পারমাণবিক গুরুত্ব যথাক্রমে 107·9 এবং 63·6; রূপোর তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক 0·001118 gm/Coulomb.

$$\text{রূপোর রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক} = E_1 = \frac{\text{পারমাণবিক ওজন}}{\text{যোজ্যতা}} = 107{\cdot}9.$$

$$\text{তামার রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক} = E_2 = \frac{\text{তামার পারমাণবিক ওজন}}{\text{তামার যোজ্যতা}} = 31{\cdot}8$$

রূপোর তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক $= z_1 = 0{\cdot}001118$ gm/Coulomb.

আমরা জানি, $\frac{E_1}{E_2}=\frac{z_1}{z_2}$

এখানে $z_2$ হ'ল তামার তড়িৎ-রাসায়নিক তুল্যাঙ্ক।

$$\therefore \quad z_2=\frac{E_2}{E_1}\times z_1=\frac{31{\cdot}8\times{\cdot}001118}{107{\cdot}9} \text{ gm/Coulomb}$$
$$={\cdot}000347 \text{ gm/Coulomb}$$

∴ জমা তামার ভর $= M = z_2\, i.\, t.$

অর্থাৎ, $1{\cdot}0={\cdot}000347\times i\times 30\times 60$

$$\therefore \quad i=\frac{1{\cdot}0}{{\cdot}000347\times 1800}=1{\cdot}69 \text{ A.}$$

37. 1 Kilowatt একটি হিটারকে 200 V D-C মেইন লাইনের সঙ্গে যুক্ত ক'রে ব্যবহার করতে হবে।

(i) হিটারে তড়িৎপ্রবাহ কত হবে? (ii) এর রোধ কত? (iii) হিটারে কত শক্তি ব্যয়িত হবে? (iv) প্রতি সেকেণ্ডে কত ক্যালরি তাপ উৎপন্ন হবে? (v) এই হিটারের সাহায্যে 100°C উষ্ণতার কত গ্রাম জলকে প্রতি মিনিটে 100°C উষ্ণতার বাষ্পে রূপান্তরিত করা যাবে?

বিকিরণ-জনিত তাপ-ক্ষয় উপেক্ষা কর। বাষ্পের লীন তাপ = 540 cal/gm.

ব্যবহৃত ক্ষমতা = P = 1 KW = 1000 Watt

উৎসের বিভব = V = 220 ভোল্ট

(i) হিটার কর্তৃক গৃহীত তড়িৎ-প্রবাহ $= i = \frac{P}{V} = \frac{1000\ W}{220\ V} = 4{\cdot}55$ A.

(ii) হিটার-কুণ্ডলীর রোধ $= R = \frac{V^2}{P} = \frac{220^2}{1000} = 48{\cdot}4$ Ohm.

(iii) হিটারে ব্যবহৃত ক্ষমতা = 1000 W.

(iv) 1 সেকেণ্ডে উদ্ভূত তাপ $= H = \frac{Vit}{J} = \frac{1000 \times 1}{4{\cdot}2} = 240$ cal/sec

(v) প্রতি মিনিটে উৎপন্ন তাপ = 240 × 60 = 14400 cal.

100°C উষ্ণতার 1 gm জলকে 100°C উষ্ণতায় বাষ্পে রূপান্তরিত করতে প্রয়োজনীয় তাপ 540 cal.

∴ 14400 cal তাপ দ্বারা যে পরিমাণ 100°C উষ্ণতার জলকে 100°C উষ্ণতায় বাষ্পে রূপান্তরিত করা যায়, তার ভর $= \frac{14400}{540} = 26{\cdot}8$ gm.

38. 2·75 Kg জলপূর্ণ একটি চৌবাচ্চার তাপগ্রাহিতা 630 J/°K. এই চৌবাচ্চায় নিমজ্জিত 40 Ohm রোধের ভিতর দিয়ে কত তড়িৎ-প্রবাহ পাঠালে রোধে উদ্ভূত তাপ দ্বারা 5 মিনিটে চৌবাচ্চা 10°C থেকে 40°C পর্যন্ত উত্তপ্ত হবে? 4200 জুল, 1 কিলো-ক্যালরির সমান ধরে নাও।

চৌবাচ্চার তাপগ্রাহিতা $= 630\ \frac{J}{°K} = 630\ \frac{J}{°C}$

চৌবাচ্চার উষ্ণতা 1°C বৃদ্ধি করতে যে-তাপ লাগে, তা $\frac{630}{4200}$ Kg জলের 1°C উষ্ণতা বৃদ্ধি করতে পারে।

অর্থাৎ, 0·15 Kg জল।

∴ (2·75 + 0·15) Kg জলের 30°C উষ্ণতা বৃদ্ধি করতে প্রয়োজনীয় মোট তাপ = H = 2·90 × 4200 × 30 J.

মনে করি, রোধের মধ্য দিয়ে বৈদ্যুতিক প্রবাহ = $i$

এবং $H = i^2Rt$ থেকে

$$2{\cdot}90 \times 4200 \times 30 = i^2 \times 40 \times 5 \times 60 \qquad \left[\begin{array}{l} R = 40 \text{ Ohm} \\ t = 5 \times 60 \text{ sec} \end{array}\right]$$

বা, $i^2 = \frac{4200 \times 2{\cdot}9 \times 30}{40 \times 5 \times 60} = 30{\cdot}45$

$\therefore \quad i = 5{\cdot}518$ A.

39. 220V—500W চিহ্নিত একটি বৈদ্যুতিক হিটার দ্বারা কত সময়ে 1 Kg জলের উষ্ণতা 20°C থেকে 80°C হবে? 40% শক্তি অপচয় হয় ধরে নাও।

জলের ভর = $m$ = 100 gm.

উষ্ণতা-বৃদ্ধি = (80 − 20) = 60°C

প্রয়োজনীয় তাপ = 1000 × 60 = 60000 cal

হিটারের ক্ষমতা = P = 500 Watt = 500 J/sec

$\therefore$ উদ্ভূত তাপ = $\frac{511}{5{\cdot}2}$ = 120 cal/sec

40% শক্তি অপচয় হয় ব'লে

ব্যবহৃত তাপ = 120 × 60 = 72 cal/sec

$\therefore$ প্রয়োজনীয় সময় = $\frac{60000}{70}$ = 840 sec = 14 minute.

## ● আধুনিক পদার্থবিজ্ঞান এবং ইলেকট্রনিক্স ●

1. কোন বিভব-বৈষম্যের মধ্য দিয়ে যেতে একটি ইলেকট্রনের স্থিরাবস্থা থেকে বেগ $1{\cdot}6 \times 10^9$ cm/sec হ'ল। যদি ইলেকট্রনের ভর $9{\cdot}1 \times 10^{-28}$ gm এবং আধান $1{\cdot}6 \times 10^{-20}$ e. m. u. হয়, তাহলে প্রযুক্ত বিভব-বৈষম্যের মান কত?

আমরা জানি যে, $\frac{1}{2}mv^2 = e\text{V}$.

যেখানে, $v$ = ইলেকট্রনের অন্তিম বেগ, $e$ = ইলেকট্রনের আধান, $m$ = ইলেকট্রনের ভর এবং V = প্রযুক্ত বিভব-বৈষম্য।

এখানে, $v = 1{\cdot}6 \times 10^9$ cm/sec., $m = 9{\cdot}1 \times 10^{-28}$ gm.

আমরা জানি,

1 e. m. u. আধান = $3 \times 10^{10}$ e. s. u. আধান।

$\therefore$ $1{\cdot}6 \times 10^{-20}$ e.m.u. আধান = $3 \times 10^{10} \times 1{\cdot}6 \times 10^{-20}$ e.s.u. আধান।

অর্থাৎ, $e = 4{\cdot}8 \times 10^{-10}$ e. s. u.

$$\therefore \quad \text{V} = \frac{mv^2}{2e} = \frac{9{\cdot}1 \times 10^{-28} \times (1{\cdot}6 \times 10^9)^2 \times 300}{2 \times 4{\cdot}8 \times 10^{-10}} = 728 \text{ volt.}$$

[ $\because$ 1 e.s.u. = 300 volt]

2. 139·34 ভোল্ট বিভব-বৈষম্যের মধ্য দিয়ে একটি ইলেকট্রনের স্থিরাবস্থা থেকে বেগ $7 \times 10^8$ cm/sec হ'ল। যদি ইলেকট্রনের আধান $1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ কুলম্ব হয়, তাহলে এর ভরের মান কত?

আমরা জানি যে, $\frac{1}{2}mv^2 = eV$.

যেখানে, $v$ = ইলেকট্রনের অন্তিম বেগ, $e$ = ইলেকট্রনের আধান, $m$ = ইলেকট্রনের ভর এবং V = প্রযুক্ত বিভব-বৈষম্য।

এখানে $v = 7 \times 10^8$ cm/sec.

আমরা জানি, 1 কুলম্ব = $3 \times 10^9$ e. s. u. আধান ;

$\therefore$ $1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ কুলম্ব = $3 \times 10^9 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-19}$ e. s. u. আধান ;

অর্থাৎ, $e = 4{\cdot}8 \times 10^{-10}$ e. s. u. আধান।

$$= \frac{4{\cdot}8 \times 10^{-10}}{300} \text{ এবং } V = 139{\cdot}34 \text{ volt.}$$

এখন, $m = \frac{2eV}{v^2}$ ব'লে,

$$m = \frac{2 \times 4{\cdot}8 \times 10^{-10} \times 139{\cdot}34}{300 \times (7 \times 10^8)^2} = 9{\cdot}099 \times 10^{-28} \text{ gm.}$$

3. একটি এক্স-রশ্মি নল 50 K.V.-তে কাজ করছে। এটি যে সকল এক্স-রশ্মি উৎপন্ন করে, তার সবচেয়ে ক্ষুদ্রতম তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য নির্ণয় কর। দেওয়া আছে— $h = 6{\cdot}62 \times 10^{-27}$ erg-sec, $e = 4{\cdot}8 \times 10^{-10}$ e. s. u.

V বিভব-বৈষম্যে চলার সময় ইলেকট্রন সর্বাধিক শক্তি V$e$ লাভ করে। এই শক্তি এক্স-রশ্মি শক্তিতে রূপান্তরিত হলে উৎপন্ন এক্স-রশ্মির সর্বাপেক্ষা ক্ষুদ্রতম তরঙ্গদৈর্ঘ্য প্রদত্ত সমীকরণ থেকে পাওয়া যায়, $eV = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$

যেখানে $e$ = ইলেকট্রনের আধান, V = প্রযুক্ত বিভব-বৈষম্য, $h$ = প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক, $c$ = আলোকের বেগ, $\lambda$ = তরঙ্গদৈর্ঘ্য, $\nu$ = তরঙ্গের কম্পাঙ্ক।

এখানে, V = 50 K.V. = 5000 volt

$$= \frac{50 \times 1000}{300} \text{ e. s. u.} = \frac{500}{3} \text{ e. s. u.}$$

$$\therefore \lambda = \frac{hc}{eV} = \frac{6{\cdot}62 \times 10^{-27} \times 3 \times 10^{10}}{\frac{500}{3} \times 4{\cdot}8 \times 10^{-10}}$$

$$= 241 \times 10^{-8} \text{ cm.} = 248 \text{ Å}.$$

4. কুলীজ নলের অ্যানোডে ইলেকট্রন আঘাত ক'রে 1 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের এক্স-রশ্মি উৎপন্ন করে। সংঘাতের মুহূর্তে প্রতিটি ইলেকট্রনের শক্তি এবং বেগ নির্ণয় কর।

দেওয়া আছে, $h = 6{\cdot}55 \times 10^{-27}$ erg-sec, $e = 4{\cdot}77 \times 10^{-10}$ e. s. u. এবং $m = 9{\cdot}1 \times 10^{-28}$ gm.

আমরা জানি যে, $Ve = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{hc}{\lambda}$

যেখানে V = প্রযুক্ত বিভব-বৈষম্য, $m$ = ইলেকট্রনের ভর, $e$ = ইলেকট্রনের আধান, $v$ = ইলেকট্রনের বেগ, $h$ = প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক, $\lambda$ = তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য এবং $c$ = আলোকের বেগ।

$$\text{প্রতিটি ইলেকট্রনের গতি-শক্তি} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{hc}{\lambda}$$

$$= \frac{6{\cdot}55 \times 10^{-27} \times 3 \times 10^{10}}{9 \times 10^{-8}}$$

$$= 19{\cdot}65 \times 10^{-9} \text{ erg.}$$

প্রতিটি ইলেকট্রনের বেগ নীচে লেখা সমীকরণ থেকে পাওয়া যায়ঃ

$$v^2 = \frac{2 \times 19{\cdot}65 \times 10^{-9}}{91 \times 10^{-28}}$$

$$v = \sqrt{v^2} = \sqrt{\frac{2 \times 19{\cdot}65 \times 10^{-9}}{9{\cdot}1 \times 10^{-28}}}$$

$$= 6{\cdot}572 \times 10^9 \text{ cm/sec.}$$

5. $10^7$ cm/sec বেগে চলমান ইলেকট্রনের সঙ্গে সংশ্লিষ্ট তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের মান নির্ণয় কর। [দেওয়া আছে যে, ইলেকট্রনের ভর $= 9{\cdot}1 \times 10^{-28}$ gm এবং প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক $h = 6{\cdot}6 \times 10^{-27}$ erg-sec.]

আমরা জানি,

$$\text{তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য} = \frac{\text{প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক}}{\text{ইলেকট্রনের ভর} \times \text{ইলেকট্রনের গতি}}$$

দেওয়া আছে, ইলেকট্রনের বেগ $= 10^7$ cm/sec এবং ইলেকট্রনের ভর $= 9{\cdot}1 \times 10^{-28}$ gm.

$$\therefore \ \text{তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য} \ \lambda = \frac{6{\cdot}6 \times 10^{-27}}{9{\cdot}1 \times 10^{-28} \times 10^7}$$

$$= 7{\cdot}252 \times 10^{-7} \text{ cm} = 72{\cdot}52 \text{ Å}$$

6. কোন এক বিশেষ নিঃসরকের কার্য অপেক্ষক 2·0 ev এবং নিঃসরণের জন্য 3000A° তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য-বিশিষ্ট আলোক ব্যবহার করা হ'ল। বিরাম-বিভব এবং সর্ব-শক্তির ইলেকট্রনের বেগ কত নির্ণয় কর।

দেওয়া আছে যে, $e = 4{\cdot}8 - 10^{-10}$ e.s.u., $m = 9{\cdot}1 \times 10^{-28}$ gm., প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক $= 6{\cdot}62 \times 10^{-27}$ erg-sec. 1 ev $= 1{\cdot}6 \times 16^{-12}$ erg.

প্রশ্নানুযায়ী, তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য $\lambda = 3000$ Å $= 3000 \times 10^{-8}$ cm.

$$\therefore \ hv = hc/\lambda = \frac{6{\cdot}62 \times 10^{-27} \times 3 \times 10^{10}}{3000 \times 10^{-8}} = 6{\cdot}62 \times 10^{-12} \text{ erg.}$$

$$= \frac{6{\cdot}62 \times 10^{-12}}{1{\cdot}6 \times 10^{-12}} \text{ ev} = 4{\cdot}14 \text{ ev}$$

এখন, $ev = h\nu - e_b$ ব'লে

$ev = 4{\cdot}14 - 2{\cdot}0 = 2{\cdot}14$ ev

বা, $V = 2{\cdot}14$ volt $= \frac{2{\cdot}14}{300}$ e. s. u.

আবার, $\frac{1}{2}mu^2 = Ve$

বা, $u = \sqrt{\frac{2Ve}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 2{\cdot}14 \times 4{\cdot}81 \times 10^{-10}}{300 \times 9{\cdot}1 \times 10^{-28}}} = 8{\cdot}675 \times 10^7$ cm/sec.

7. টাংস্টেনের ফটো-তড়িৎ প্রারম্ভ তরঙ্গ-দৈর্ঘ্য 2300Å, প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক $6{\cdot}6 \times 10^{-27}$ erg-sec হলে, 1800 Å তরঙ্গ-দৈর্ঘ্যের বেগুনীপারের আলোর প্রভাবে নিঃসৃত ইলেকট্রনের গতিশক্তি ইলেকট্রন ভোল্টে নির্ণয় কর। দেওয়া আছে যে, 1 ইলেকট্রন ভোল্ট $= 1{\cdot}6 \times 10^{-12}$ erg.

এখানে কার্য-অপেক্ষক, $e_b = h\nu_0 = hc/\lambda_0$

$$= \frac{6{\cdot}6 \times 10^{-27} \times 3 \times 10^{10}}{2300 \times 10^{-8}} = 0{\cdot}86 \times 10^{-11} \text{ erg.}$$

আপতিত বিকিরণের শক্তি,

$$h\nu = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6{\cdot}6 \times 10^{-27} \times 3 \times 10^{10}}{1800 \times 10^{-8}} = 1{\cdot}10 \times 10^{-11} \text{ erg.}$$

ইলেকট্রনের গতিশক্তি,

$$= h\nu - e = (1{\cdot}10 - 0{\cdot}86) \times 10^{-11} \text{ erg} = 0{\cdot}24 \times 10^{-11} \text{ erg.}$$

$$\frac{0{\cdot}24 \times 10^{-11}}{1{\cdot}6 \times 10^{-12}} \text{ev} = 1{\cdot}5 \text{ ev.}$$

8. জিঙ্কের কার্য অপেক্ষক $= 3{\cdot}6$ ev. এবং জিঙ্কের প্রারম্ভ কম্পাঙ্ক $9 \times 10^{14}$ c.p.s. হলে, প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক নির্ণয় কর। (দেওয়া আছে 1 ev. $= 1{\cdot}6 \times 10^{-12}$ erg)

এখানে কার্য-অপেক্ষক $= 3{\cdot}6$ ev. $= 3{\cdot}6 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-12}$ erg.

প্রারম্ভিক কম্পাঙ্ক $\nu_0 = 9 \times 10^{14}$ c. p. s.

আবার $e_b = h\nu_0$ সূত্র থেকে পাই, [$h$ = প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক]

$$h = e_b/\nu_0$$

$$= \frac{3{\cdot}6 \times 1{\cdot}6 \times 10^{-12}}{9 \times 10^{14}} = 6{\cdot}4 \times 10^{-27} \text{ erg-sec.}$$

9. রেডিয়ামের অর্ধায়ু 1590 বছর। কত বছর পরে 1 গ্রাম রেডিয়ামের 1 সেন্টিগ্রাম নষ্ট হবে? কত দিন পর কেবল 1 সে. গ্রাম রেডিয়াম পড়ে থাকবে?

রেডিয়ামের অর্ধায়ু (T) = 1590 বছর।

আমরা জানি, তেজস্ক্রিয় ধ্রুবক $\lambda = \frac{{\cdot}6931}{T} = \frac{{\cdot}6931}{1590}$.

আবার, $\frac{dN}{dt} = \lambda N_0$,  $\therefore\ \lambda = \frac{dN}{d\lambda}/N = \frac{3\cdot5 \times 10^{10} \times 226}{6\cdot025 \times 10^{23}}$.

অর্ধায়ু $T = \frac{0\cdot6931}{\lambda} = \frac{0\cdot6931 \times 6\cdot025 \times 10^{23}}{3\cdot5 \times 10^{10} \times 226}$ sec = 1674 বছর।

12. $K^{40}$-এর অর্ধায়ু $18\cdot3 \times 10^8$ বছর হলে তেজস্ক্রিয় ধ্রুবকের মান নির্ণয় কর। $K^{40}$-এর প্রতি সেকেন্ডে প্রতি গ্রাম থেকে কি পরিমাণ $\beta$-কণা নির্গত হচ্ছে ?

আমরা জানি, $\lambda = 0\cdot6931/T$

এখানে $T = 18\cdot3 \times 10^8$ বছর $= 18\cdot3 \times 10^8 \times 365 \times 86400$ sec

তাহলে $\lambda = \frac{0\cdot6931}{18\cdot3 \times 10^8 \times 365 \times 86400} = 1\cdot2 \times 10^{-17}\ sec^{-1}$.

আবার, $-dN/dt = \lambda N$.

এখন এক গ্রাম-পরমাণুতে (40 gm) $6\cdot023 \times 10^{23}$ সংখ্যক পরমাণু (অ্যাভোগাড্রোর সংখ্যা) আছে। তাহলে $K^{40}$-র এক গ্রামে পরমাণু সংখ্যা N হলে,

$N = (6\cdot023 \times 10^{23})/40 = 1\cdot506 \times 10^{22}$

$\therefore$ প্রতি সেকেণ্ডে প্রতি গ্রাম থেকে $\beta$-কণা নির্গমনের সংখ্যা

$= -dN/dt = \lambda N = 1\cdot2 \times 10^{-17} \times 1\cdot506 \times 10^{22} = 1\cdot807 \times 10^5$.

13. কোন তেজস্ক্রিয় পদার্থের অর্ধায়ু হচ্ছে 15 দিন। 2 gm এই রকম পদার্থের কত অংশ 60 দিন বাদে অবশিষ্ট থাকবে ?

15 দিন বাদে তেজস্ক্রিয় পদার্থের যে-পরিমাণের ভাঙ্গন হবে না $= \frac{1}{2} \times 2 = 1$ gm.

30 ,, ,, ,, ,, ,, ,, ,, $= \frac{1}{2} \times 1 = 0\cdot5$ gm.

45 ,, ,, ,, ,, ,, ,, ,, $= \frac{1}{2} \times 0\cdot5 = 0\cdot250$ gm

60 ,, ,, ,, ,, ,, ,, ,, $= \frac{1}{2} \times 0\cdot250 = 0\cdot125$ gm

অর্থাৎ, 60 দিন বাদে 2 gm তেজস্ক্রিয় পদার্থের যে-পরিমাণের ভাঙ্গন হবে না $= 0\cdot125$ gm.

14. হাইড্রোজেন পরমাণুর প্রথম বোর কক্ষপথে আবর্তনশীল ইলেকট্রনের শক্তি $-13\cdot6$ e. v. হলে, ইহার দ্বিতীয় বোর কক্ষপথ হইতে প্রথম কক্ষপথে ইলেকট্রন সংক্রমণের ফলে নিঃসৃত ফোটনের শক্তি কত হবে ? [H. S. 1983]

বোরের পরমাণু চিত্র থেকে আমরা জানি যে, ইলেকট্রন $l$ কক্ষপথ থেকে $m$ কক্ষপথে সংক্রমিত হলে শক্তির পার্থক্য

$$E_l - E_m = \frac{2\pi^2 me^4}{h^2}\left[\frac{1}{m^2} - \frac{1}{l^2}\right]$$

যদি $l = \infty$ এবং $m = 1$ হয়, অর্থাৎ অসীম দূরত্ব সম্পন্ন কক্ষপথ থেকে প্রথম কক্ষপথে সংক্রমিত হলে

$$E_\infty - E_1 = \frac{2\pi^2 me^4}{h^2}\left[\frac{1}{1^2} - \frac{1}{\infty}\right]$$

বা, $-E_1 = \frac{2\pi^2 me^4}{h^2}$

ধরা যাক, $t$ সময় পরে 1 গ্রাম রেডিয়াম থেকে 1 সেণ্টিগ্রাম রেডিয়াম নষ্ট হ'ল। সুতরাং, অবশিষ্ট রেডিয়ামের পরিমাণ হবে

$$N = 1 - \cdot 01 = \cdot 99 \text{ gm.}$$

এখন $N = N_0 N e^{-\lambda t}$ বা, $\log_e N = \log_e N_0 - \lambda t$

বা, $t = \frac{1}{\lambda} \log_e \left(\frac{N_0}{N}\right)$

$$= \frac{1590}{\cdot 6931} \log_e \frac{1}{\cdot 99} = \frac{1590 \times 2 \cdot 3026}{0 \cdot 6931} \log_{10} \left(\frac{1}{\cdot 99}\right)$$

$$= \frac{1590 \times 2 \cdot 3026 \times \cdot 0044}{0 \cdot 6931} = 23 \cdot 24 \text{ বছর।}$$

আবার, যখন 1 সেণ্টিগ্রাম অবশিষ্ট থাকে অর্থাৎ,

$N = \cdot 01$ gm. $\quad \therefore \lambda t = \log_e \frac{1}{0 \cdot 01}$

$$t = \frac{1590 \times 2 \cdot 3026}{0 \cdot 6931} \times \log_e 100 = \frac{1590 \times 2 \cdot 3026 \times 2}{0 \cdot 6931} = 10564 \text{ বছর।}$$

10. র‍্যাডনের অর্ধায়ু 3·8 দিন। কতদিন পর মূল অংশের $\frac{1}{10}$ ভাগ অবশিষ্ট থাকবে?

র‍্যাডনের অর্ধায়ু $T = 3 \cdot 8$ দিন।

$\therefore$ র‍্যাডনের তেজস্ক্রিয় ধ্রুবক $\lambda = \frac{\cdot 6931}{T} = \frac{\cdot 6931}{3 \cdot 8}$

যদি $t$ সময় পরে মোট ওজনের $\frac{1}{10}$ ভাগ অবশিষ্ট থাকে তাহলে,

$$\frac{N}{N_0} = \frac{1}{10} = e^{-\lambda t}$$

বা, $\log_e (\frac{1}{10}) = -\lambda t$ $\quad$ বা, $\log_e 10 = \lambda t$

$$\therefore \quad t = \frac{\log_e 10}{\lambda} = \frac{2 \cdot 3026 \times \log 10 \times 3 \cdot 8}{0 \cdot 6931} = 12 \cdot 62 \text{ দিন।}$$

11. 1 gm রেডিয়াম থেকে প্রতি সেকেণ্ডে $3 \cdot 5 \times 10^{10}$ আলফা কণা বের হয়। রেডিয়ামের পারমাণবিক গুরুত্ব 226 এবং অ্যাভোগাড্রো সংখ্যা $6 \cdot 025 \times 10^{23}$। রেডিয়ামের অর্ধায়ু নির্ণয় কর।

যেহেতু, রেডিয়ামের পারমাণবিক ভর 226, সেহেতু 226 gm রেডিয়ামে পরমাণুর সংখ্যা হবে $6 \cdot 025 \times 10^{23}$

$\therefore$ 1 gm রেডিয়ামে এই সংখ্যা $= \frac{\text{অ্যাভোগাড্রোর সংখ্যা}}{\text{পারমাণবিক ভর}} = \frac{6 \cdot 025 \times 10^{23}}{226}$

এখন, রেডিয়ামে ভাঙ্গনের হার = প্রতি সেকেণ্ডে নির্গত আলফা-কণার সংখ্যা

$$\therefore \quad dN/dt = 3 \cdot 5 \times 10^{10}$$

প্রশ্নানুসারে $E_1 = -13{\cdot}6$ e. v.

$$\therefore \quad 13{\cdot}6 = \frac{2\pi^2 me^4}{h^2}$$

অতএব, দ্বিতীয় বোর কক্ষপথ থেকে প্রথম কক্ষপথে ইলেকট্রন সংক্রমণের ফলে নিঃসৃত ফোটনের শক্তি

$$E_2 - E_1 = \frac{2\pi^2 me^4}{h^2}\left[\frac{1}{1^2} - \frac{1}{2^2}\right]$$
$$= 13{\cdot}6 \times \tfrac{3}{4}$$
$$= 10{\cdot}2 \text{ e. v.}$$

15. কোন তেজস্ক্রিয় মৌলের অর্ধায়ুষ্কাল 2 ঘন্টা। এই বস্তুর প্রাথমিক ভর 5 gm হলে 10 ঘন্টা পর ইহার কতটা ভর অবশিষ্ট থাকবে? [H. S. 1983]

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে তেজস্ক্রিয় মৌলের অর্ধায়ুষ্কাল = 2 ঘন্টা।

সুতরাং 10 ঘন্টা = 5টি অর্ধায়ু। তেজস্ক্রিয় মৌলের অর্ধায়ুষ্কালের সংজ্ঞানুসারে আমরা জানি যে, প্রত্যেক অর্ধায়ু পরে মৌলের মূল ভরের অর্ধেক ভেঙ্গে যাবে। সুতরাং 5টি অর্ধায়ু পরে ভরের $(\frac{1}{2})^5 = \frac{1}{32}$ অংশ পড়ে থাকবে। মূল ভর 5 gm হলে যে-অংশ পড়ে থাকবে, তার পরিমাণ $= 5 \times \frac{1}{32}$

$$= 156{\cdot}2 \text{ mgm.}$$

17. $^{232}$Th (z = 90) তেজস্ক্রিয় আইসোটোপ পর পর ছয়টি আলফা কণিকা এবং চারটি বিটা কণিকা নিঃসৃত করে। ইহার ফলে উৎপন্ন আইসোটোপের ভর-সংখ্যা এবং পারমাণবিক সংখ্যা কত হয়? উৎপন্ন আইসোটোপটিকে কি সনাক্ত করতে পার? [H. S. 1983]

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে, প্রতি আলফা কণিকা নিঃসরণের ফলে ভর-সংখ্যা 4 হ্রাস হয় এবং পারমাণবিক সংখ্যা 2 হ্রাস হয়। সুতরাং, 6টি আলফা কণিকা নিঃসরণের ফলে মোট ভর-সংখ্যার হ্রাস $= 6 \times 4 = 24$ এবং পারমাণবিক সংখ্যার মোট হ্রাস

$= 6 \times 2 = 12$ একক।

প্রতি বিটা কণা নিঃসরণের ফলে ভর-সংখ্যার কোন হ্রাস হয় না, কিন্তু পারমাণবিক সংখ্যা 1 একক বৃদ্ধি পায়।

অতএব, 4টি বিটা কণা নিঃসরণের ফলে পারমাণবিক সংখ্যার মোট বৃদ্ধি

$= 4 \times 1 = 4$ একক।

অতএব, উৎপন্ন আইসোটোপের ভর-সংখ্যা $= 232 - 24 = 208$ এবং পারমাণবিক সংখ্যা $= 90 - 12 + 4 = 82$।

সুতরাং, উৎপন্ন আইসোটোপটি সীসা হবে।

17. স্থিরাবস্থা হইতে যাত্রা করিয়া 60 KV বিভব-প্রভেদের ভিতর দিয়া যাওয়ার পর ইলেকট্রনের বেগ $1{\cdot}46 \times 10^{10}$ cm/sec হইল। Coulomb per gm এককে ইলেকট্রনের আধান এবং ভরের অনুপাত নির্ণয় কর। [J. E. E. 1981]

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে আমরা জানি যে, ইলেকট্রনের গতিশক্তি

$$= \frac{1}{2} mv^2 = e.\ v.$$

$$\text{বা,}\quad \frac{e}{m} = \frac{v^2}{2\text{v}} = \frac{(1{\cdot}46 \times 10^{10})^2}{2 \times 60 \times 10^3 \times 10^7}$$

$$= 1{\cdot}78 \times 10^6 \text{ Coulomb/gm.}$$

18. 4950 Å তরঙ্গদৈর্ঘ্যের মোট ফোটনের শক্তি ইলেকট্রন ভোল্ট এককে নির্ণয় কর। [J. E. E. 1981]

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে আমরা জানি যে,

ফোটনের শক্তি $= h\nu = \dfrac{hc}{\lambda}$

যেখানে $h =$ প্ল্যাঙ্কের ধ্রুবক $= 6{\cdot}6 \times 10^{-27}$

$c =$ আলোর বেগ $= 3 \times 10^{10}$ cm/sec

$\lambda =$ তরঙ্গদৈর্ঘ্য $= 4950 \times 10^{8}$ cm.

$\therefore$ ফোটনের শক্তি $= \dfrac{hc}{\lambda}$

$$= \frac{6{\cdot}6 \times 10^{-27} \times 3 \times 10^{10}}{4950 \times 10^{8}}$$

$$= \frac{6{\cdot}6 \times 10^{-27} \times 3 \times 10^{10}}{4950 \times 10^{8} \times 1{\cdot}6 \times 10^{-12}}$$

$$= 2{\cdot}5 \text{ e. v.}$$

19. একটি ডায়োড ভালভের প্লেট এবং ক্যাথোডের মধ্যে বিভব-প্রভেদ 200 ভোল্ট ; উহার ভিতর দিয়া 60 $m$A প্রবাহমাত্রা প্রবাহিত করা হইলে, উহার প্লেটে যে পরিমাণ তাপ উৎপন্ন হইবে, তাহা তাপীয় এককে নির্ণয় কর।

প্রতি সেকেণ্ডে প্লেটে কতকগুলি ইলেকট্রন আঘাত করবে, তাহাদের সংখ্যাও নির্ণয় কর। ধরিয়া লও, ইলেকট্রনগুলি ক্যাথোড হইতে শূন্য গতিবেগ লইয়া নিঃসৃত হইতেছে। একটি ইলেকট্রনের তড়িতাধান $= 1{\cdot}6 \times 10^{-20}$ e. s. u. [J. E. E. 1981]

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে, প্রতি সেকেণ্ডে উৎপন্ন তাপের পরিমাণ

$$\text{H} = {\cdot}24\ \text{C}^2\ \text{R Calorie}$$

$$= {\cdot}24\ \text{V C Calorie}$$

$$= {\cdot}24 \times 200 \times 60 \times 10^{-3}$$

$$= 2{\cdot}88 \text{ Calories.}$$

ইলেকট্রনের তড়িতাধান $= 1{\cdot}6 \times 10^{-20}$ e. s. u.

$$= 1{\cdot}6 \times 10^{-19} \text{ Coulomb.}$$

অতএব, প্রতি সেকেণ্ডে প্লেটে আঘাতকারী ইলেকট্রনের সংখ্যা

$$= \frac{\text{প্রবাহমাত্রা}}{\text{ইলেকট্রনের তড়িতাধান}}$$

$$= \frac{60 \times 10^{-3}}{1{\cdot}6 \times 10^{-19}} = 37{\cdot}5 \times 10^{16}.$$

20. একটি হিলিয়াম পরমাণুকে ভাঙ্গিয়া চারটি হাইড্রোজেন পরমাণুতে রূপান্তরিত করিতে কত শক্তি লাগিবে, ইলেকট্রন ভোল্ট এককে উহার মান নির্ণয় কর। হিলিয়াম এবং হাইড্রোজেনের পরমাণুর ভর-সংখ্যা যথাক্রমে 4·0039 এবং 1·0081 ; একটি প্রোটনের ভর $= 1{\cdot}661 \times 10^{-24}$ gm ; 1 e.v. $= 1{\cdot}6 \times 10^{-12}$ erg. [J. E. E. 1981]

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে,

একটি হাইড্রোজেন পরমাণুর ভর = 1·0081.

অতএব, 4টি হাইড্রোজেন পরমাণুর ভর $= 4 \times 1{\cdot}0081$ e.m.u.

হিলিয়ামের ভর ঘাটতি $= (4 \times 1{\cdot}0081 - 4{\cdot}0039) = {\cdot}0285$ e.m.u.

এখন 1·0081 e.m.u. $= 1{\cdot}661 \times 10^{-24}$ gm.

অতএব ·0285 e.m.u. $= \frac{1{\cdot}661 \times 10^{-24} \times {\cdot}0285}{1{\cdot}0081} = {\cdot}047 \times 10^{-24}$ gm.

উৎপন্ন শক্তি $E = mc^2$

$$\frac{{\cdot}047 \times 10^{-24} \times (3 \times 10^{10})^2}{1{\cdot}6 \times 10^{-12}} = 2{\cdot}64 \times 10^{7} \text{ e.v.}$$

21. একটি ধাতুর আলোক-তড়িৎ কার্য অপেক্ষক 1·32 e.v. ধাতব গাত্র থেকে সর্বোচ্চ কত তরঙ্গদৈর্ঘ্যের বিকিরণ আলোক-তড়িৎ নিঃসরণ করতে সক্ষম।

ইলেকট্রনের তড়িৎ মান $= 4{\cdot}8 \times 10^{-10}$ e.s.u.

এবং প্ল্যাঙ্ক ধ্রুবক $= 6{\cdot}6 \times 10^{-27}$ erg-sec. [J. E E. 1984]

মনে করা হ'ল সর্বোচ্চ তরঙ্গদৈর্ঘ্য $= \lambda_m$.

আমরা জানি যে, ফোটনের শক্তি

$$E = \frac{hc}{\lambda_m}. \quad \text{বা,} \quad \text{e.v.} = \frac{hc}{\lambda_m} \quad \text{বা,} \quad \lambda_m = \frac{hc}{\text{e.v.}}$$

$$= \frac{6{\cdot}6 \times 10^{-27} \times 3 \times 10^{10} \times 300}{1{\cdot}32 \times 4{\cdot}8 \times 10^{-10}}$$

$$= 9375 \times 10^{-8} \text{ cm.}$$

$$= 9375 \text{ Å}.$$

22. কোন তেজস্ক্রিয় পদার্থের অর্ধ-আয়ুষ্কাল 2 দিন হইলে কত দিন পরে পদার্থের $\frac{1}{32}$ অংশ অবশিষ্ট থাকিবে ? [J. B. E. 1986]

আমরা জানি যে, অর্ধায়ু নিম্নলিখিত সমীকরণ দ্বারা প্রকাশ করা যায়

$$T = \frac{\cdot 6931}{\lambda}$$

যেখানে $\lambda$ = ক্ষয়-ধ্রুবক বা ভাঙ্গন-ধ্রুবক।

আবার, তেজস্ক্রিয়তার বিঘটন সূত্র থেকে আমরা জানি যে,

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad \ldots \quad \ldots \quad (2)$$

যেখানে $N_0$ = পরমাণুর প্রাথমিক সংখ্যা ; $N$ = $t$-সময় পরে পরমাণুর সংখ্যা।

প্রশ্নানুসারে, অর্ধায়ু $T = 2$ দিন

এবং $N = \frac{N_0}{64}$

সুতরাং (1) নং সমীকরণ থেকে আমরা পাই,

$$2 = \frac{\cdot 6931}{\lambda} \quad \text{বা,}\ \lambda = \frac{\cdot 6931}{2}$$

এবং (2) নং সমীকরণ থেকে আমরা পাই,

$$\frac{N_0}{64} = N_0 e^{-\lambda t}$$

বা, $\frac{1}{64} = e^{-\lambda t}$

বা, $e^{-\lambda t} = \frac{1}{2^6}$

বা, $\frac{\cdot 6931}{2} t = 6 \times \cdot 6931.$

বা, $t = 6 \times 2 = 12$ দিন।

23. 5 মিলিক্যুরি-শক্তি-সম্পন্ন একটি $\alpha$-রশ্মির উৎস তৈয়ারী করতে কি পরিমাণ $_{84}PO^{210}$-এর প্রয়োজন। $_{84}PO^{210}$-এর অর্ধায়ু $(T) = 138$ দিন।

[J. E. E. 1986]

আমরা জানি যে, কোন তেজস্ক্রিয় মৌলের অর্ধায়ু $T = \frac{\cdot 6931}{\lambda}$

যেখানে $\lambda$ = ক্ষয়-ধ্রুবক/ভাঙ্গন-ধ্রুবক।

প্রদত্ত প্রশ্নানুসারে $T = 138$ দিন

$= 138 \times 24 \times 60 \times 60$ সেকেণ্ড।

$\therefore$ ভাঙ্গন-ধ্রুবক $\lambda = \frac{\cdot 6931}{138 \times 24 \times 60 \times 60}$

এখন বিয়োজনের হার

$$\frac{dN}{dt} = \lambda N$$

প্রশ্নানুসারে,

$$\frac{dN}{dt} = 5 \text{ মিলিকুারী} = 5 \times 3{\cdot}7 = 10^7$$

অতএব $N = \frac{dN}{dt} \Big/ \lambda$

$$= \frac{5 \times 3{\cdot}7 \times 10^7 \times 138 \times 24 \times 3600}{{\cdot}6931}$$

$$= 3182{\cdot}96 \times 10^{12}.$$

সুতরাং, ${}_{84}PO^{210}$-এর পরিমাণ

$$= \frac{3182{\cdot}96 \times 10^{12}}{6{\cdot}02 \times 10^{23}}$$

$$= 1{\cdot}11 \times 10^{-6} \text{ gm.}$$

